



Inês Lima Gomes

Licenciada em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

Melhoria contínua em linhas de montagem manual numa indústria eletrónica

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Doutora Susana Carla Vieira Lino Medina Duarte, Professora
Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Ana Sofia Leonardo Viela de Matos, Professora
Associada da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Doutora Ana Paula Ferreira Barroso, Professora Auxiliar
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa

Vogal: Doutora Susana Carla Vieira Lino Medina Duarte, Pro-
fessora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho, 2021

Melhoria contínua em linhas de montagem manual numa indústria eletrónica

Copyright © Inês Lima Gomes. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A presente dissertação só foi possível graças ao contributo de diversas pessoas, a quem gostaria de deixar os meus mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Professora Doutora Susana Duarte por toda a disponibilidade e pelos conselhos e ensinamentos que me concedeu ao longo deste projeto.

A todo o departamento de *Value Stream Contract Manufacturing* da Bosch Security Systems de Ovar, por me terem feito sentir parte da equipa, desde o primeiro dia. Ao engenheiro Daniel Brandão, por todo o tempo que dedicou a este projeto, pela paciência e por todos os conhecimentos que me transmitiu e que levarei para o resto da vida. Graças à sua orientação, serei uma melhor engenheira industrial.

Às minhas amigas de sempre, por serem uma presença constante ao longo do meu percurso académico. Aos amigos que conheci na faculdade, por terem sido os meus companheiros em todos os desafios destes últimos cinco anos. E ao João por ter sido um apoio incansável nesta última etapa.

Gostaria de agradecer também a toda a minha família pela a motivação que sempre me deram e, em particular, nestes últimos seis meses. À minha irmã Sara, por estar sempre disposta a ouvir os meus desabafos e histórias. E aos meus pais, por me darem sempre as melhores oportunidades, por me incentivarem a ir mais longe e por me inculcarem o gosto pela engenharia. Devo-lhes todos os meus sucessos e conquistas!

Resumo

Nas linhas de montagem manuais é frequente recorrer-se a ferramentas de melhoria contínua como o estudo dos tempos, a análise do processo, a standardização do trabalho e o balanceamento, para aumentar a eficiência das mesmas. Na presente dissertação apresenta-se um estudo de caso onde foram definidos dois objetivos relacionados com a implementação destas ferramentas, a uma linha de montagem manual de uma indústria eletrónica.

O primeiro objetivo consistiu em melhorar a eficiência da linha de montagem, que foi, recentemente, sujeita a alterações. Para tal, utilizou-se um relatório A3 e recorreu-se ao estudo dos tempos, à análise do processo e à standardização do trabalho, para identificar e eliminar desperdícios, estabelecer os tempos de trabalho standard, atualizar a taxa de produção da linha e diminuir o tempo de *setup*.

Com o segundo objetivo pretendeu-se desenvolver um modelo de apoio ao balanceamento de linhas de montagem manual, visto que a empresa não utilizava nenhum método específico. Foi proposto um modelo baseado numa heurística de prioridade simples, que permite incluir várias particularidades associadas à linha em estudo. O modelo foi construído no Microsoft Excel e posteriormente testado na linha usada como estudo de caso.

Em relação ao primeiro objetivo, concluiu-se que as ações de melhoria implementadas na linha permitiram aumentar a eficiência da linha e reduzir em cerca de 8% os custos médios mensais de produção na linha. Conclui-se ainda que o modelo de apoio ao balanceamento proposto possibilita a simplificação e a uniformização do processo de balanceamento, permitindo avaliar vários cenários em tempo útil. As evidências apresentadas, face a este modelo, relevam as vantagens de utilizar métodos simples e específicos, para a resolução do problema do balanceamento de linhas de montagem.

Palavras-chave: Balanceamento, linhas de montagem manual, melhoria contínua, eficiência

Abstract

In manual assembly lines, to increase efficiency it can be apply continuous improvement tools such as time studies, process analysis, standardization of work and balancing. This dissertation presents a case study where two objectives were define related to the implementation of these tools, in a manual assembly line in the electronics industry.

The first objective was to improve the efficiency of the assembly line, which was recently subject to change. To this end, an A3 report was used and the study of times, process analysis, and work standardization were used to identify and eliminate waste, establish standard work times, update the production rate line and shorten setup time.

With the second objective, it was intended to develop a model to support the balancing of manual assembly lines, since the company did not use any specific method. A model based on a simple priority heuristic was proposed, which allows the inclusion of several particularities associated with the line under study. The model was built in Microsoft Excel and later tested in the line used as a case study.

Regarding the first objective, it was concluded that the improvement actions implemented in the line made it possible to increase the line's efficiency and reduce the average monthly production costs on the line by around 8%. It was also concluded that the proposed balancing support model enables the simplification and standardization of the balancing process, allowing the evaluation of several scenarios in short time. The evidence presented, given this model, reveals the advantages of using simple and specific methods to solve the problem of balancing assembly lines.

Keywords: Balancing, manual assembly lines, continuous improvement, efficiency.

Índice Geral

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.3 METODOLOGIA DE TRABALHO.....	5
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	9
2.1 LINHAS DE MONTAGEM.....	9
2.2 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM	15
2.3 MÉTODOS DE BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM	19
2.3.1 Métodos Exatos.....	20
2.3.2 Métodos Aproximados	22
2.3.3 Métodos académicos de balanceamento e as linhas de montagem reais.....	27
2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO DO BALANCEAMENTO.....	28
2.5 FERRAMENTAS LEAN PARA LINHAS DE MONTAGEM MANUAL	29
2.5.1 Relatório A3 (A3 Report).....	32
2.5.2 Estudo dos Tempos e Análise do processo.....	33
2.5.3 Standardização do Trabalho.....	34
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DE CASO.....	39
3.1 GRUPO BOSCH.....	39
3.2 BOSCH SECURITY SYSTEMS DE OVAR	41
3.3 LINHA DE MONTAGEM MANUAL THTx-A.....	42
3.3.1 Documentos standard das linhas de montagem manual	48
3.3.2 Estudo dos Tempos e Análise do processo na linha THTx-A.....	49
CAPÍTULO 4 - MELHORIA CONTÍNUA DA LINHA.....	55
4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	55
4.2 RELATÓRIO A3.....	56
4.3 AÇÕES DE MELHORIA DEFINIDAS	60
4.3.1 Revisão do balanceamento	60
4.3.2 Redução do número de mudanças de componentes comuns por setup.....	61
4.3.3 Atualização das taxas de produção	65

4.3.4 Atualização dos documentos standard	67
4.4 ANÁLISE DE RESULTADOS	70
CAPÍTULO 5 - MODELO DE APOIO AO BALANCEAMENTO.....	77
5.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	77
5.2 DEFINIÇÃO DA HEURÍSTICA A IMPLEMENTAR	78
5.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO	86
5.3.1 Inputs do modelo	86
5.3.2 Postos de trabalho standard para componentes comuns.....	90
5.3.3 Criação de Instruções de Trabalho	93
5.4 ANÁLISE DE RESULTADOS	93
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	99
BIBLIOGRAFIA	105
ANEXOS	112
ANEXO A – AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÃO	112
ANEXO B – CÓDIGO DO MODELO DE APOIO AO BALANCEAMENTO.....	113

Índice de Figuras

FIGURA 1-1 - ESTRUTURA E METODOLOGIA DE TRABALHO DA DISSERTAÇÃO.	7
FIGURA 2-1 - CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DAS LINHAS DE MONTAGEM.	11
FIGURA 2-2 - TIPO DE PRODUTOS NAS LINHAS.	12
FIGURA 2-3 - FLUXO DE MATERIAL NAS LINHAS.	13
FIGURA 2-4 - LAYOUTS DAS LINHAS DE MONTAGEM.	14
FIGURA 2-6 - DIAGRAMA DE ESPARGUETE.	37
FIGURA 2-7 - GRÁFICO DE YAMAZUMI	37
FIGURA 3-1 - DIVISÕES DE NEGÓCIO DO GRUPO BOSCH.	40
FIGURA 3-2 - LAYOUT DAS LINHAS THTx-A e THTx-B.	44
FIGURA 3-3 - PROCESSO DE MONTAGEM NO LINHA THTx-A.	47
FIGURA 3-4 - EXEMPLO DE UM PQI DA LINHA THTx-A DA BOSCH OVAR.	48
FIGURA 3-7 - FOLHA STANDARD DE REGISTOS DE TEMPOS DA BOSCH OVAR.	52
FIGURA 4-1 - <i>TEMPLATE</i> DO RELATÓRIO A3 UTILIZADO NA BOSCH OVAR.	57
FIGURA 4-1 - COMPONENTES COMUNS ATRIBUÍDOS A POSTOS DE TRABALHO DIFERENTES. .	62
FIGURA 4-2 - EXEMPLO DE UMA DISTRIBUIÇÃO IDEAL DOS COMPONENTES COMUNS.	63
FIGURA 4-4 - ESQUEMA PARA ANÁLISE DOS COMPONENTES COMUNS.	64
FIGURA 4-5 - GRÁFICO DE YAMAZUMI DA LINHA THTx-A, PARA 5 OPERADORES.	68
FIGURA 4-6 - GRÁFICO DE YAMAZUMI DA LINHA THTx-A, PARA 2 OPERADORES.	68
FIGURA 4-7 - EXEMPLO DE UM DIAGRAMA DE ESPARGUETE PARA 5 OPERADORES.	69
FIGURA 4-8 - EXEMPLO DE UM DIAGRAMA DE ESPARGUETE PARA 2 OPERADORES.	70
FIGURA 5-1 - COMPONENTES NA ZONA SUPERIOR DE UM PCBA.	81
FIGURA 5-2 - COMPONENTES NAS ZONAS SUPERIOR E INFERIOR DE UM PCBA.	82
FIGURA 5-3 - SEPARADOR "INPUT DOS COMPONENTES" DO FICHEIRO EXCEL.	89
FIGURA 5-4 - SEPARADOR "POSTOS" DO FICHEIRO EXCEL.	89
FIGURA 5-5 - BALANCEAMENTO NA SEPARADOR "POSTOS" DO FICHEIRO EXCEL.	90
FIGURA 5-6 - BALANCEAMENTO COM BASE EM REGISTOS ANTERIORES.	93
FIGURA 5-7 - MODELO DE APOIO AO BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM.	94
FIGURA 5-11 - ESQUEMA DE MONTAGEM INICIAL, PARA O POSTO DE TRABALHO 1.	96
FIGURA 5-12 - ESQUEMA DE MONTAGEM PROPOSTO, PARA O POSTO DE TRABALHO 1.	96
FIGURA 5-13 - GRÁFICO DE YAMAZUMI DE DO BALANCEAMENTO SEGUNDO O MODELO. ..	96
FIGURA ANEXO B-1 - FUNCIONAMENTO DO CICLO "DO WHILE LOOP", DO EXCEL.	113

FIGURA ANEXO B -2 - ATRIBUIÇÃO DE UMA TAREFA A UM POSTO DE TRABALHO.....	116
FIGURA ANEXO B -3 - ATRIBUIÇÃO DE UMA TAREFA COM RESTRIÇÃO DE POSTO.....	117
FIGURA ANEXO B -4 - ATRIBUIÇÃO UMA TAREFA COM REGISTO DE POSTO DE TRABALHO.	118

Índice de Tabelas

TABELA 2-1 - CONCEITOS DE TEMPO ASSOCIADOS ÀS LINHAS DE MONTAGEM.	10
TABELA 2-2 - TIPOS DE RESTRIÇÕES ASSOCIADAS ÀS LINHAS DE MONTAGEM	16
TABELA 2-3 - OBJETIVOS DO BALANCEAMENTO.....	19
TABELA 2-4 – REGRAS DE PRIORIDADE PARA O BALANCEAMENTO.....	23
TABELA 2-5 – PRINCIPAIS INDICADORES DE DESEMPENHO DO BALANCEAMENTO.	29
TABELA 3-1 - TEMPOS STANDARDS MÉDIOS PARA AS TAREFAS DA LINHA THTx-A	53
TABELA 3-2- CARACTERÍSTICAS DA LINHA THTx-A.....	54
TABELA 4-1 – KPI’S UTILIZADOS NO RELATÓRIO A3	59
TABELA 4-2 - CÁLCULO DO INDICADOR EFICIÊNCIA DA LINHA	61
TABELA 4-3 - EXEMPLO DE UMA ANÁLISE DOS COMPONENTES COMUNS.	63
TABELA 4-4 - CENÁRIOS PARA O BALANCEAMENTO DA LINHA COM DOIS OPERADORES.....	66
TABELA 4-5 - AVALIAÇÃO DAS AÇÕES DE MELHORIA IMPLEMENTADAS	71
TABELA 5-1 – CRITÉRIOS DE PRIORIDADE DO MODELO DE APOIO AO BALANCEAMENTO	80
TABELA 5-2 – PONTUAÇÕES ATRIBUÍDAS EM FUNÇÃO DO CRITÉRIO DE PRIORIDADE.....	82
TABELA 5-3 - SEPARADOR "BASE DE DADOS" DO FICHEIRO EXCEL.....	83
TABELA 5-4 - SEPARADOR "BASE DE DADOS" COM DOS POSTOS GRAVADOS.	85
TABELA 5-5 - EXEMPLO DOS PRODUTOS X E Y E SEUS COMPONENTES.....	85
TABELA ANEXO B-1- VARIÁVEIS UTILIZADAS NO CÓDIGO VBA	113

Lista de Abreviaturas

CM - *Contract Manufacturing*

EL - Eficiência da Linha

FIFO - *First In First Out*

IU - Índice de Uniformização

KPI - *Key Performance Indicator*

MDA - Média dos Desvios Absolutos

PCBA - *Printed Circuit Boards Assembly*

PQI - *Production and Quality Instruction*

SMT - *Surface Mounting Technology*

TI - Tempo de Inatividade

THT - *Through-hole technology*

VBA - *Visual Basic for Application*

VSCM - *Value Stream Contract Manufacturing*

Glossário Bilingue (português-inglês)

Eficiência da linha – *Line efficiency*

Heurísticas de prioridade - *Priority based heuristics*

Indicador de Desempenho - *Key Performance Indicator*

Índice de uniformização – *Smootheness index*

Linha de montagem assíncrona - *Unpaced assembly line*

Linha de montagem de dois lados - *Two sided assembly line*

Linhas de montagem gerais - *General assembly line*

Linha de montagem mista - *Mixed-model line*

Linha de montagem multimodelo - *Multi-model line*

Linhas de montagem simples - *Simple assembly line*

Linha de montagem síncrona - *Paced assembly line*

Linha de montagem singular - *Single-model line*

Média dos desvios absolutos – *Mean absolute deviations*

Método do Peso Posicional - *Positional Weight Method*

Placa de Circuitos Integrado - *Printed Circuit Boards Assembly*

Uniformização das cargas e trabalho - *Workload smoothing*

Regra de prioridade composta – *Multi-pass decision rule*

Regra de prioridade elementar – *Single pass-decision rule*

Regra flexível – *Flexible rule Application*

Tempo de inatividade – *Balance delay*

1

Capítulo 1 - Introdução

A presente dissertação é apresentada no âmbito da unidade curricular Dissertação para a conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial. O estudo realizado no âmbito desta dissertação foi desenvolvido através de um estágio curricular, com duração de cinco meses, no departamento de *Value Stream Contract Manufacturing* (VSCM) da Bosch Security Systems de Ovar (Bosch Ovar) que se dedica à produção de circuitos eletrónicos.

Este primeiro capítulo é dedicado à introdução do tema abordado na dissertação e ao seu enquadramento na realidade empresarial atual. São apresentadas as principais razões que motivaram este estudo e enumerados os objetivos da dissertação. A metodologia de trabalho é descrita e, na parte final do capítulo, é apresentada a estrutura utilizada no restante documento.

1.1 Enquadramento e Motivação

Atualmente, num ambiente industrial cada vez mais desenvolvido e com clientes mais exigentes, as empresas enfrentam diariamente desafios para melhorarem a sua performance e garantirem produtos com valor acrescentado que se distingam da concorrência.

Diversas empresas conseguem tornar-se mais competitivas através da identificação de oportunidades de melhoria, da eliminação de desperdícios e da

implementação de soluções, no sentido de melhorarem continuamente a eficiência dos seus processos e a gestão dos seus recursos (Rosa et al., 2017).

Um dos sistemas de produção mais utilizados na indústria são as linhas de montagem. A eficiência de uma linha de montagem pode ser medida através do tempo que um produto demora a ser montado ou, de forma equivalente, através da taxa de produção da mesma. De acordo com Ortiz (2006), para aumentar a eficiência da linha é necessário aumentar a taxa de produção (diminuir o tempo que o produto demora a ser montado) mantendo ou reduzindo os recursos utilizados.

Muitas empresas optam, frequentemente, por implementar linhas de montagem automáticas, de forma a garantir maior consistência e velocidade de produção, com menor custo e, assim, tornarem-se mais eficientes e competitivas. No entanto, nem todas as tarefas podem ser executadas por máquinas. No caso particular da indústria eletrónica, a utilização de operadores é fundamental, pois a reduzida dimensão dos componentes que compõe o produto requer uma grande sensibilidade visual para identificar as pequenas diferenças entre os vários tipos de componentes.

Nas linhas de montagem manual é necessário considerar vários fatores que podem afetar o tempo que um produto demora a ser montado e, consequentemente, a eficiência da linha. A variabilidade humana, o grau de conhecimento e a experiência dos operadores são fatores críticos, pois influenciam o tempo que o operador demora a executar as tarefas. A falta de conhecimento do processo de montagem, por parte dos operadores, pode originar erros e defeitos de qualidade. As movimentações desnecessárias dos operadores e/ou tempos de inatividade destes, também são fatores que geram ineficiência. A performance dos operadores pode ainda ser afetada pela fadiga e/ou lesões músculo-esqueléticas, pelo que é importante garantir o equilíbrio do trabalho, entre os vários operadores.

De forma a assegurar uma boa gestão dos recursos humanos e aumentar continuamente a qualidade e a eficiência do trabalho nas linhas de montagem

manual, podem ser aplicadas ferramentas de melhoria contínua, associadas à metodologia Lean. Estas permitem identificar desperdícios e oportunidades de melhoria, definir as práticas de trabalho mais eficazes e seguras e determinar os tempos de trabalho standard para, assim, estabelecer uma referência para todos os trabalhadores (Martin & Bell, 2017). Exemplos dessas técnicas são a standardização do trabalho, o estudo dos tempos e a análise do processo (Cannas et al., 2018).

Outro procedimento utilizado para aumentar a eficiência das linhas de montagem manual é o balanceamento (Hazır & Dolgui, 2013), cujo principal objetivo é distribuir as diferentes tarefas que integram a montagem de um determinado produto pelos vários postos de trabalho, que constituem uma linha. Ao balancear uma linha de montagem pretende-se que os tempos de trabalho em cada posto de trabalho sejam semelhantes, reduzindo, ao máximo, os tempos de inatividade nos mesmos (Bratcu & Dolgui, 2005).

Ao longo das últimas décadas, foram definidos diferentes tipos de balanceamento de linhas de montagem e o estudo deste problema permitiu o desenvolvimento de vários métodos de balanceamento. No entanto, a maioria desses métodos consistem em modelos matemáticos genéricos, desenvolvidos para propósitos académicos, que não conseguem refletir a complexidade e variabilidade dos sistemas reais, tornando-se, por isso, pouco práticos para a generalidade das empresas (Ghosh & Gagnon, 1989; Scholl & Becker, 2006; Cannas et al., 2018). Por essa razão, muitas empresas optam por usar métodos de tentativa e erro, onde vão experimentando diferentes sequências até obterem uma suficientemente satisfatória (Fortuny-Santos et al., 2020).

Para combater a falha existente entre os métodos académicos de balanceamento de linhas de montagem e as situações reais, é necessário utilizar abordagens mais práticas para serem utilizadas no quotidiano das empresas. Uma dessas abordagens diz respeito à aplicação de modelos baseados em heurísticas simples e flexíveis, que permitem obter soluções quase ótimas, em tempo útil (Lapierre & Ruiz, 2004). Estas heurísticas são geradas com base na lógica e exigem um conhecimento específico sobre o problema em questão (Otto & Otto, 2014).

Neste contexto, o desafio do presente estudo foi proposto pelo departamento de VSCM da Bosch Ovar, que recorre a linhas de montagem manuais para a montagem de componentes eletrônicos em placas de circuitos integrados (PCBAs). Dada a relevância deste tipo de linha para a empresa, é fundamental garantir a sua eficiência, pelo que a empresa aplica os princípios de balanceamento de linhas e as ferramentas Lean, às suas linhas de montagem.

Como forma de manter a sua competitividade, a empresa tem, por vezes, necessidade de alterar as tarefas das linhas de montagem ou adicionar novos produtos às mesmas, o que pode afetar a sua estabilidade e eficiência. Sempre que ocorrem alterações significativas, a empresa aplica ferramentas de melhoria contínua, para avaliar os impactos das mesmas e implementar ações de melhoria, caso necessário. Este é o caso de uma das linhas de montagem manual da Bosch Ovar que sofreu, recentemente, alterações e por isso a empresa propôs que fossem aplicadas de ferramentas de melhoria contínua, para aumentar a sua eficiência.

Atualmente, a empresa não utiliza nenhum método específico de balanceamento, sendo este procedimento maioritariamente baseado no conhecimento que os engenheiros industriais da Bosch Ovar possuem em relação às tarefas e às linhas de montagem. A utilização de um método específico de balanceamento permitiria à empresa uniformizar este processo, através da aplicação de regras e critérios estruturados.

1.2. Objetivos

O estudo apresentado na presente dissertação relaciona-se com a melhoria contínua do trabalho em linhas manuais, para aumentar a eficiência das mesmas. Definiram-se dois objetivos, que serão desenvolvidos em paralelo, num caso real:

- (1) Aplicação de ferramentas Lean para a melhoria contínua de uma linha de montagem manual, para avaliar o impacto de alterações implementadas recentemente na mesma;

- (2) Desenvolvimento de um modelo de apoio ao balanceamento, simples e prático, que possa ser aplicado às diferentes linhas de montagem manual da empresa de estudo de caso, sempre que estas sofram alterações (adição de novos produtos ou tarefas de montagem).

Pretende-se analisar o estado atual da linha de montagem, identificando oportunidades de melhoria e eliminando atividades sem valor acrescentado. Relativamente ao modelo de apoio ao balanceamento de linhas de montagem manual, tem-se em vista que este seja fácil de utilizar e implementar, gerando soluções suficientemente boas, num curto intervalo de tempo.

1.3 Metodologia de Trabalho

Para responder aos objetivos identificados, optou-se por utilizar como metodologia de investigação o estudo de caso. De acordo com Voss et al. (2002), um estudo de caso permite fazer uma descrição dos estados inicial e corrente de um determinado fenómeno, com base na análise de evidências recolhidas de diversas fontes (observação direta, entrevistas, pesquisas bibliográficas, entre outras).

De acordo com a metodologia de investigação adotada, após a definição dos objetivos, é necessário recolher informação, de forma a descrever qualitativa e quantitativamente o sistema em estudo. Inicialmente foi feita uma revisão de literatura, para identificar as principais características das linhas de montagem, os principais métodos de balanceamento e as ferramentas Lean aplicadas à melhoria contínua das linhas de montagem manual. Em seguida realizou-se uma análise da linha de montagem em questão, através da aplicação da ferramenta estudo dos tempos e análise do processo. Com esta ferramenta, pretende-se identificar os desperdícios, as oportunidades de melhoria e as principais características das linhas manuais da Bosch Ovar. Os dados recolhidos nesta fase contribuíram para estabelecer (i) o estado inicial da linha em análise e as melhorias necessários e (ii) os fatores mais relevantes a incluir no modelo de apoio ao balanceamento.

Posteriormente, o estudo foi desenvolvido de forma a responder a cada um dos objetivos propostos:

- (1) Aplicação de um relatório A3 para descrever o estado inicial da linha e definir as metas para o estado futuro, bem como as ações a implementar para as alcançar (aplicação do balanceamento e das ferramentas de melhoria contínua na linha de montagem manual);
- (2) Desenvolvimento do modelo de apoio ao balanceamento, através da definição de uma heurística de prioridade e da construção do modelo, com recurso à aplicação informática Microsoft Excel e às suas funcionalidades *Visual Basic for Applications* (VBA) e Macros. A heurística proposta deve ser capaz de: (i) distribuir uniformemente o trabalho pelos vários postos de trabalho da linha e (ii) respeitar restrições existentes.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos: (1) Introdução, (2) Linhas de Montagem: Métodos e Ferramentas, (3) Estudo de Caso, (4) Melhoria contínua da linha manual, (5) Modelo de Apoio ao Balanceamento e (6) Conclusões e Trabalhos Futuros. Na Figura 1-1 está representado um esquema da estrutura da presente dissertação, com uma descrição das etapas da metodologia de trabalho desenvolvidas em cada um dos capítulos.

O presente capítulo é relativo ao enquadramento do tema da dissertação, à apresentação dos objetivos propostos e à metodologia de trabalho utilizada na mesma.

O capítulo dois é dedicado à revisão de literatura sobre os conceitos teóricos abordados ao longo da dissertação.

No capítulo três é feita uma breve apresentação do grupo Bosch e da Bosch Ovar de Ovar. É ainda descrito o funcionamento da linha de montagem manual, utilizada como estudo de caso, e feita uma exposição das principais evidências recolhidas durante a análise das atividades e estudo dos tempos.

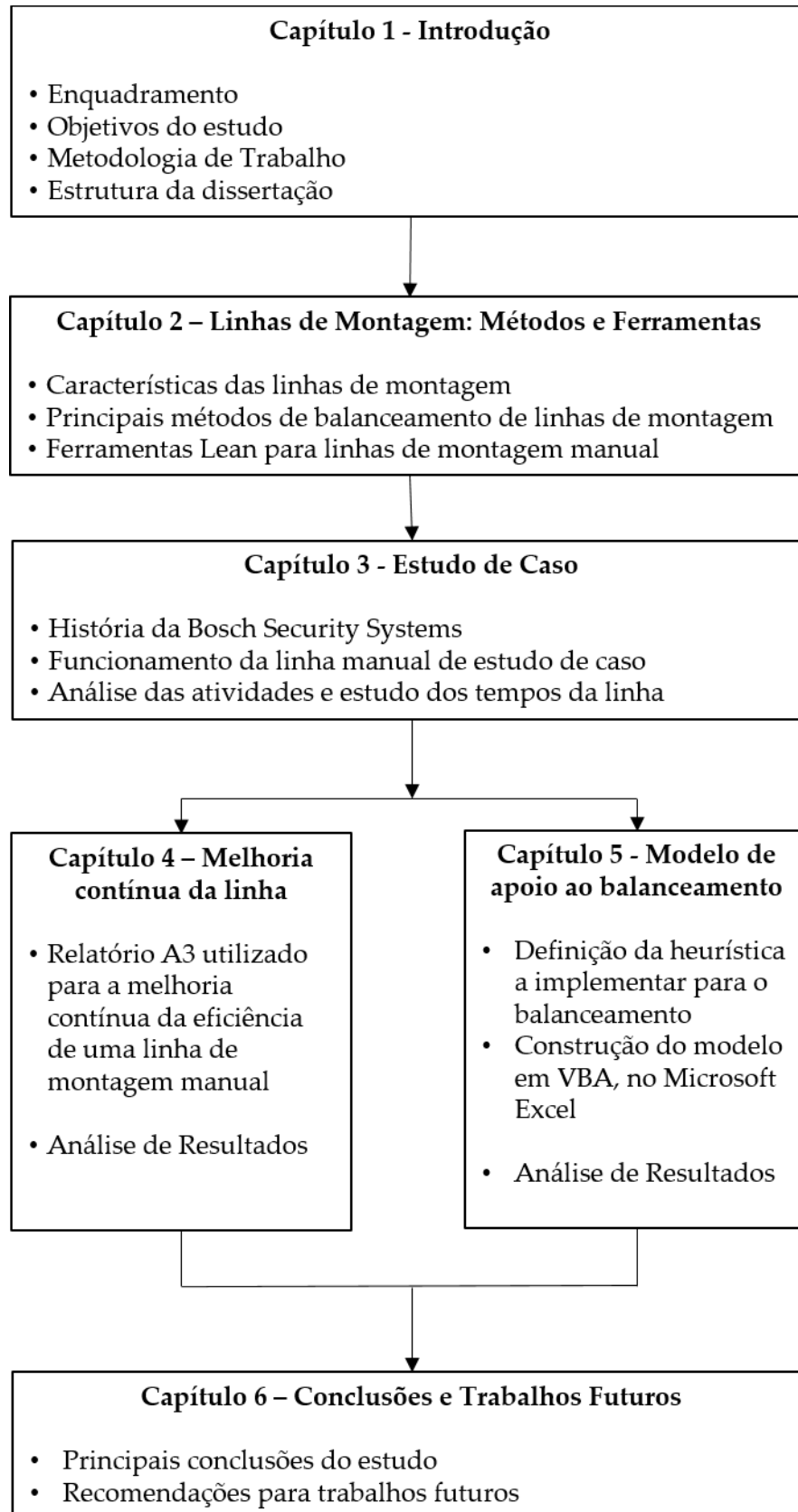


Figura 1-1 - Estrutura e metodologia de trabalho da dissertação.

Os capítulos quatro e cinco dizem respeito, respectivamente, à apresentação do relatório A3 utilizado para o estudo da linha manual e à descrição das etapas realizadas para desenvolver o modelo de apoio ao balanceamento de linhas de montagem, em VBA e Macros, no Microsoft Excel. No final de cada um dos capítulos é apresentada uma análise de resultados relativa aos objetivos apresentados.

Por último, no capítulo seis são apresentadas as conclusões desta dissertação e tecidas considerações para trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Linhas de Montagem: Métodos e Ferramentas

Neste capítulo pretende-se fazer um enquadramento teórico relativo aos conceitos mais relevantes para o estudo de caso apresentado. São abordadas as principais características e definições associadas às linhas de montagem, os métodos de balanceamento mais comuns na literatura e as ferramentas Lean utilizadas para aumentar a eficiência das linhas de montagem manual.

2.1 Linhas de Montagem

O estudo das linhas de montagem remonta ao ano de 1913, quando Henry Ford apresentou a primeira linha de montagem, dedicada à produção em massa dos automóveis da Ford (Gen et al., 2008).

Uma linha de montagem é um processo de manufatura em que um conjunto de componentes que são adicionadas a um produto, de forma sequencial, até se obter o produto final (Gen et al., 2008). A montagem de um produto é, normalmente, conseguida através da decomposição do trabalho em elementos pequenos e indivisíveis, a que se dá o nome de tarefas (Erel & Sarin, 1998).

Uma linha pode ser constituída por dois ou mais postos de trabalho. Define-se posto de trabalho como o local onde é desempenhado, por um operador, de forma repetitiva, um conjunto de tarefas durante um determinado período de tempo (Kilbridge & Wester, 1961). Quando as tarefas de um posto de trabalho

estão completas, o produto é enviado para o posto de trabalho seguinte, até se obter o produto final (montado).

Os postos de trabalho podem conter um local onde os componentes necessários à montagem do produto são dispostos, em contentores denominados por *racks*. A *rack* de um posto de trabalho pode ser constituída por rampas de entrada (rampas *in*) e de saída (rampas *out*), que permitem, respetivamente, o abastecimento de contentores com os materiais necessários à montagem e a expedição dos contentores vazios para um novo abastecimento.

Designa-se por bordo de linha, o espaço de armazenamento, de uma rampa *in*, localizado junto a cada posto de trabalho de uma linha (Pinto, 2009). A organização do bordo de linha deve facilitar a operação de recolha dos materiais pelos operadores (*picking*), evitando referências de materiais repetidas e permitindo a gestão visual, para facilitar o processo de abastecimento.

Relacionado com as linhas de montagem, é possível definir diferentes conceitos de tempo, como é apresentado na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 - Conceitos de tempo associados às linhas de montagem.

Designação	Definição	Autor
Tempo da tarefa	Tempo necessário para executar uma determinada tarefa.	(Erel & Sarin, 1998)
Tempo do posto de trabalho	Soma dos tempos de todas as tarefas atribuídas a um posto de trabalho.	
Tempo de ciclo	Intervalo de tempo que dista a saída de duas unidades de produto consecutivos na linha.	
Tempo de inatividade ou folga	Diferença entre o tempo de ciclo e o tempo do posto de trabalho.	
Tempo standard	Tempo requerido por um operador experiente e qualificado, a trabalhar com uma velocidade e esforço normais, para executar uma determinada tarefa.	(Meyers & Stewart, 2002)
Takt time	Tempo necessário para completar um produto, em cada ciclo, de forma a satisfazer a procura e tendo em conta a capacidade da linha.	

O posto de trabalho com a tarefa ou conjunto de tarefas que demoram mais tempo a executar define o ritmo da linha e, por isso, este designa-se por posto de trabalho gargalo (*bottleneck*).

Numa linha de montagem, a taxa de produção ou cadência da linha é definida em função do inverso do tempo de ciclo. Seja c o tempo de ciclo de uma linha, a taxa de produção da linha é então dada por $\frac{1}{c}$, o que significa que uma unidade de produto final sai da linha a cada c unidades de tempo (Baybars, 1986).

As linhas de montagem podem ser classificadas tendo em conta diferentes critérios, nomeadamente em relação à diversidade de produtos, ao fluxo de materiais, ao nível de automação e ao layout. As classificações para cada critério são apresentadas na Figura 2-1. As empresas conjugam os diferentes tipos de linha, de acordo com estes critérios, consoante as suas necessidades de produção e os seus tipos de produtos e equipamentos.

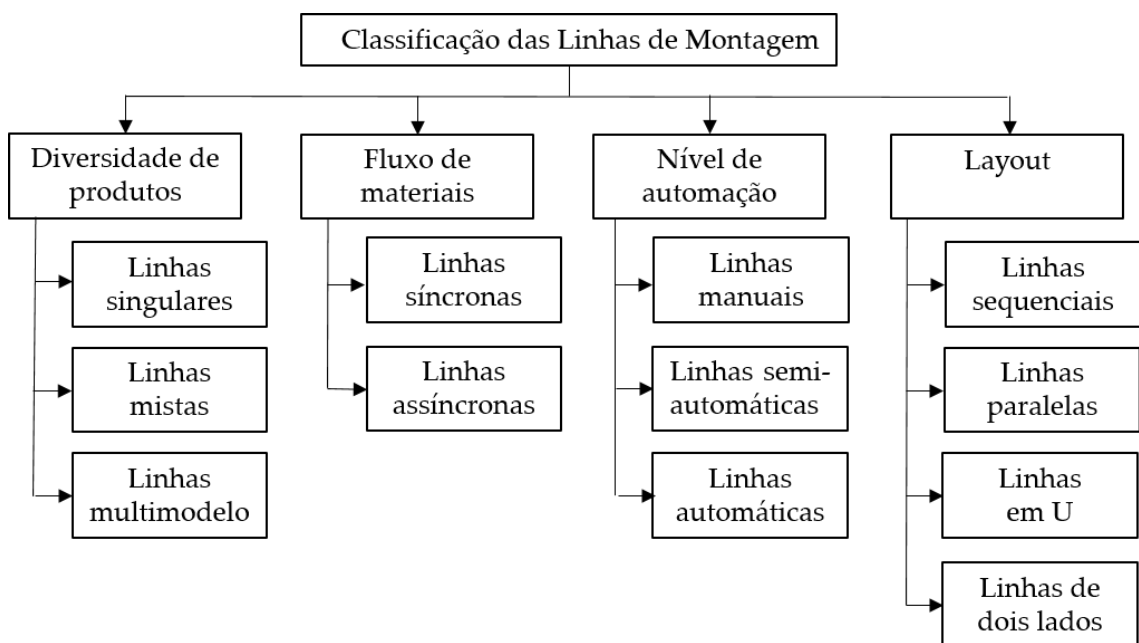


Figura 2-1 - Critérios de classificação das linhas de montagem.

a) Diversidade de produtos

Segundo Becker & Scholl (2006), existem três classificações para as linhas de montagem, tendo em conta o tipo de produtos montados nas mesmas, como é apresentado na Figura 2-2. Uma linha de montagem diz-se singular se for exclusivamente dedicada à montagem de um tipo de produto. Se na linha são montados diferentes modelos, de uma família de produtos, alternadamente, numa sequência predefinida, então a linha é designada por linha mista. As linhas onde são montados diferentes lotes, existindo paragens de produção entre os mesmos, são consideradas linhas multimodelo. Estas paragens ocorrem para que possam ser realizadas mudanças de materiais ou ferramentas, ajustes e preparação de equipamentos, sendo designadas por *setup* ou *changeover*.

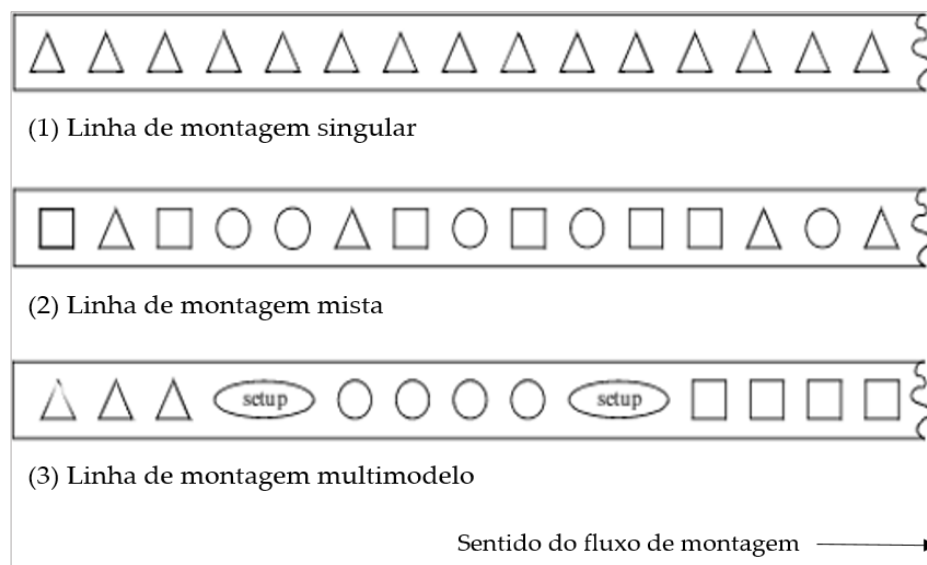


Figura 2-2 - Tipos de produtos nas linhas.
Adaptado de (Becker & Scholl, 2006).

b) Fluxo de materiais

As linhas de montagem podem ser distinguidas em relação ao fluxo de material síncrono ou assíncrono (Saif et al., 2014), como é representado nos dois

esquemas da Figura 2-3. Em linhas em que os postos de trabalho têm aproximadamente o mesmo tempo de ciclo, a movimentação dos produtos de um posto de trabalho para o posto seguinte ocorre de forma periódica e um produto só é enviado para o próximo posto de trabalho, após esse período, por isso diz-se que a linha é síncrona. As linhas em que os produtos podem ser enviados de um posto de trabalho para o seguinte, a partir do momento em que ficam concluídas, são consideradas assíncronas.

Nas linhas assíncronas é comum existir stock intermédio entre os postos de trabalho. O stock intermédio é um conjunto de unidades que aguarda, num espaço entre um dado posto de trabalho e o posto de trabalho seguinte, onde vão ser montadas (Figura 2-3(b)). A utilização de stocks intermédios entre os postos de trabalho permite diminuir as variações entre os tempos dos vários postos de trabalho (Lee Q., 2000), evitando tempos de inatividade nos postos com menor tempo de trabalho.

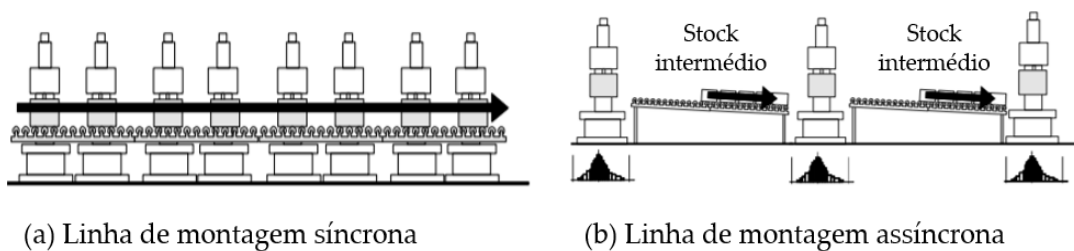


Figura 2-3 - Fluxo de material nas linhas.

Adaptado de (Lee Q., 2000).

c) Nível de automação

Em função do seu nível de automação, as linhas podem ser classificadas como manuais, semiautomáticas ou automáticas (Tabucanon & Changli, 1993). Nas linhas manuais todas as tarefas são executadas por operadores. Nas linhas semiautomáticas, umas tarefas são desempenhadas por operadores e outras por máquinas. Nas linhas automáticas, as tarefas são exclusivamente executadas por máquinas.

d) Layout

De acordo com Saif et al. (2014), em relação ao layout, distinguem-se quatro tipos de linhas: sequencial, paralela, em U e de dois lados. Na Figura 2-4 estão representados esquematicamente cada um destes layouts.

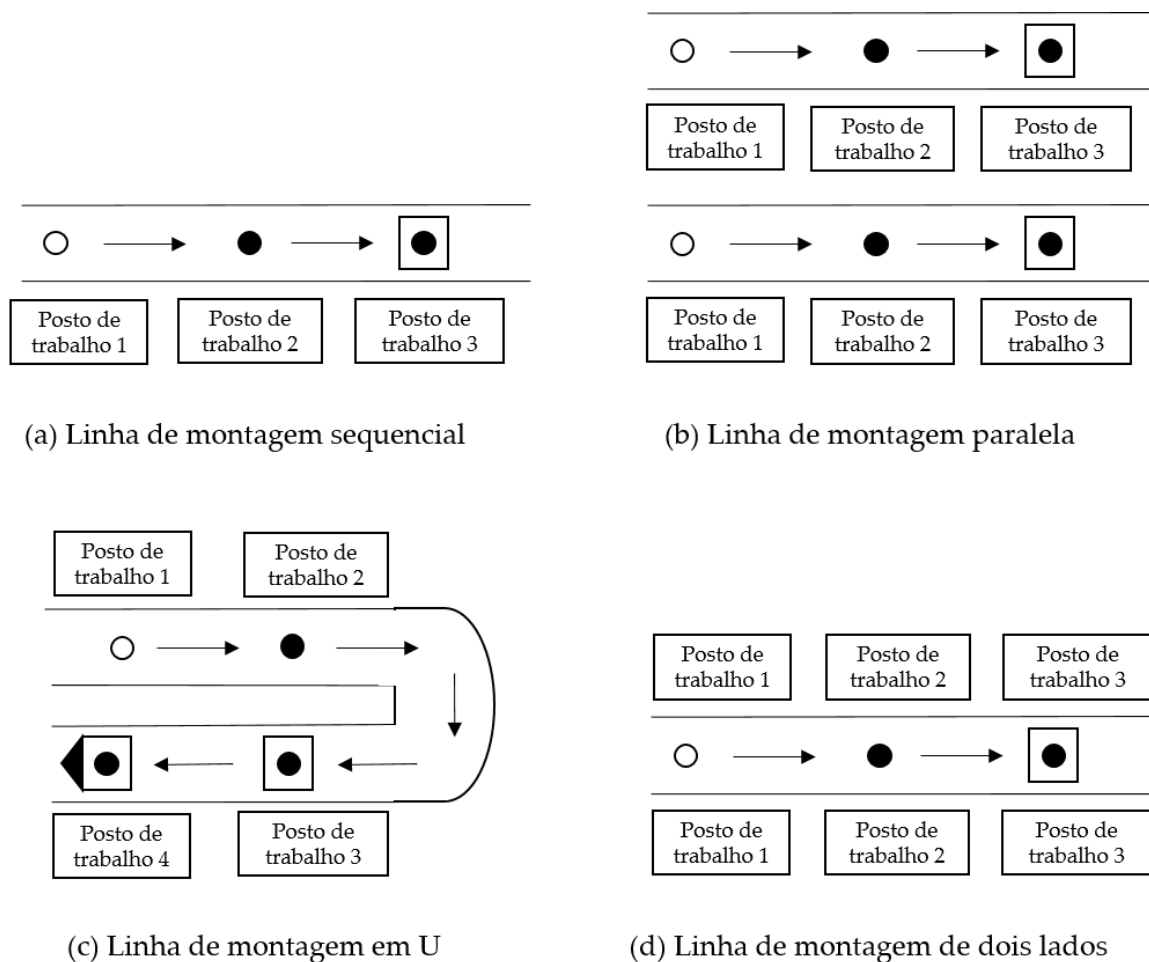


Figura 2-4 - Layouts das linhas de montagem.

Numa linha sequencial (esquema a), os postos de trabalho estão colocados em série e o fluxo de produtos ocorre de forma unilateral e sequencial, desde o primeiro posto de trabalho até ao final da linha.

Nas linhas paralelas (esquema b), uma dada tarefa pode ser executada em dois ou mais postos de trabalho, que são colocados em paralelo.

As linhas de montagem em U (esquema c), como o nome indica, têm um layout em forma de U, o que permite que, durante o mesmo ciclo de trabalho, um operador consiga montar duas unidades em postos de trabalho diferentes, graças à proximidade dos postos.

As linhas de dois lados (esquema d) são desenhadas para a montagem de produtos volumosos e em que pode ser vantajoso trabalhar em dois lados diferentes do produto, em simultâneo.

2.2 Balanceamento de Linhas de Montagem

O problema do balanceamento de linhas foi primeiro abordado por Helgeson, em 1954. Em 1955, Salveson publicou o primeiro modelo matemático para a resolução deste problema (Ghosh & Gagnon, 1989). Desde então, foram escritos e publicados inúmeros artigos relacionados com o estudo do problema do balanceamento de linhas de montagem.

O problema do balanceamento de linhas reside em saber quais as tarefas que devem ser atribuídas a cada posto de trabalho (Mozdgir et al., 2013). Assim, o balanceamento de uma linha de montagem consiste na distribuição de um conjunto de tarefas pelos diferentes postos de trabalho de uma linha, de forma a otimizar um ou mais objetivos, sem violar as restrições impostas na linha. De acordo com Baybars (1986), uma linha encontra-se balanceada quando o tempo de inatividade na linha (correspondente à soma dos tempos de inatividade de todos os postos de trabalho) é o menor possível.

Segundo Meyers & Stewart (2002) os propósitos do balanceamento de linhas são: (i) distribuir o trabalho de forma equilibrada entre os operadores, (ii) identificar o posto de trabalho gargalo, (iii) estabilizar a velocidade da linha de montagem, (iv) determinar o número de postos de trabalho necessários e (v) determinar o custo de montagem associado a um determinado produto.

Os problemas de balanceamento de linha podem ser classificados tendo em conta a variabilidade dos tempos das tarefas (Becker & Scholl, 2006). Se a variação dos tempos das tarefas for suficientemente pequena, os tempos das tarefas e o

balanceamento podem ser considerados determinísticos. Se, por outro lado, a variação dos tempos for elevada, então os tempos das tarefas e o balanceamento são considerados estocásticos. Tarefas simples e/ou automáticas têm, normalmente, tempos determinísticos. Tarefas complexas, que possam estar sujeitas à variabilidade humana, têm tempos estocásticos.

De acordo com Kilbridge & Wester (1961), as linhas de montagem podem estar sujeitas a diversas restrições, nomeadamente, restrições de precedência das tarefas, restrições de recurso e restrições de posição do produto na linha. Na Tabela 2-2 encontram-se descritos estes três tipos de restrições.

Tabela 2-2 - Tipos de restrições associadas às linhas de montagem

Tipo de Restrição	Descrição
Restrição de precedência	Questões técnicas do produto, que impedem que uma tarefa seja realizada antes da sua antecessora.
Restrição de recurso	Tarefas que dependem da utilização de máquinas ou equipamentos (como aparelhos de montagem (<i>jigs</i>) e ferramentas manuais), têm de ser atribuídas aos postos de trabalho onde estes estão disponíveis.
Restrição de posição	Características/limitações do produto que o obrigam a ser montado em posições específicas. Normalmente associado a produtos de grandes dimensões.

a) Problemas de balanceamento com base no tipo de linha de montagem

Baybars (1986) distingue dois tipos de balanceamento de acordo com a complexidade das linhas: o balanceamento de linhas simples e o balanceamento de linhas gerais.

No caso do balanceamento de linhas de montagem simples, estabelecem-se os seguintes pressupostos (Scholl & Becker, 2006): (i) a linha é singular, (ii) a linha é considerada sequencial e unilateral, (iii) não existem restrições, exceto as de precedência, (iv) os tempos das tarefas são considerados determinísticos, (v) a

linha tem um tempo de ciclo considerado fixo, (vi) todos os postos de trabalho estão igualmente equipados em relação a máquinas e trabalhadores, (vii) as tarefas são indivisíveis e por isso não podem ser executadas em mais do que um posto de trabalho.

No que diz respeito a linhas gerais, estas podem ter diferentes características (Gen et al., 2008) como restrições de recursos, postos de trabalho paralelos ou em U, tempos estocásticos ou determinísticos e podem ser dedicadas à produção de mais do que um modelo de produtos (linhas de montagem multimodelo e mistas). No balanceamento de linhas gerais podem ser consideradas diferentes hipóteses e múltiplos objetivos e podem ser incluídas restrições adicionais como a incompatibilidade entre tarefas ou tarefas que têm de ser realizadas em conjunto (Bautista & Pereira, 2002).

b) Problema de balanceamento com base nos objetivos estabelecidos

Na literatura encontram-se diferentes objetivos para o balanceamento de linhas de montagem. Segundo Boysen et al. (2007), os problemas de balanceamento podem ser classificados em quatro objetivos: balanceamento do tipo I, do tipo II, do tipo F e do tipo E .

O balanceamento do tipo I tem como objetivo minimizar o número de postos de trabalho, para um dado tempo de ciclo ou, de forma equivalente, minimizar o tempo de inatividade na linha, para um dado tempo de ciclo (Erel & Sarin, 1998). De acordo com Ponnambalam et al. (1999), este tipo de balanceamento aplica-se, por norma, (i) a linhas cujos produtos têm pouca procura e, por isso, pode ser necessário diminuir o número de postos de trabalho, ou (ii) em situações em que uma nova linha está a ser planeada.

No balanceamento do tipo II pretende-se minimizar o tempo de ciclo, para um dado número de postos de trabalho já existentes. Este tipo de balanceamento pode ser aplicado quando se pretende aumentar a taxa de produção de uma determinada linha de montagem, sem investir em mais recursos e/ou espaço (Ponnambalam et al., 1999).

Nos balanceamentos do tipo F e E, o tempo de ciclo e o número de postos de trabalho são conhecidos, pretendendo-se, para o primeiro caso, encontrar apenas uma solução possível e, para o segundo, uma solução que maximize a eficiência da linha.

Na literatura é ainda referido outro tipo de balanceamento, que consiste em garantir que a carga de trabalho está uniformemente dividida pelos vários postos de trabalho. A carga de trabalho de um posto pode ser definida como a quantidade de trabalho atribuída a esse posto de trabalho, por unidade de tempo, por exemplo unidades montadas por dia ou horas-homem por dia (Fortuny-Santos et al., 2020).

Alguns autores defendem que este tipo de balanceamento pode ser considerado um segundo objetivo, integrado num dos outros tipos de balanceamento, como é o caso de Scholl & Becker (2006) e Mozdgir et al. (2013). Outros autores como Eswaramoorthi et al. (2012), Chen et al. (2018), Azizoğlu & İmat (2018) e Hazır et al. (2020), defendem que a uniformização das cargas de trabalho pode ser considerada um objetivo principal, designando este tipo de balanceamento por tipo III ou uniformização das cargas de trabalho (Kim et al., 1998; Gen et al., 2008).

Apesar dos objetivos mais abordados na literatura serem os balanceamentos do tipo I e II, o balanceamento do tipo III é, em muitas situações reais, o mais desejável, sobretudo em linhas de montagem manual, em que uma divisão uniforme do trabalho confere uma sensação de igualdade aos operadores (Talbot et al., 1986).

A distribuição uniforme das cargas de trabalho pelos diferentes postos de trabalho reflete-se numa utilização mais eficiente de recursos para a empresa. Por outro lado, contribui para a diminuição das lesões músculo-esqueléticas e da fadiga (Hazır et al., 2020). Segundo Sury (1971), as condições ideais de um balanceamento são obtidas quando, numa linha de montagem, operadores igualmente qualificados desempenham a mesma quantidade de trabalho.

Na Tabela 2-3 são apresentadas as diferentes classificações para o problema do balanceamento de linhas de montagem, tendo em conta os diversos objetivos que podem ser estabelecidos.

Tabela 2-3 - Objetivos do Balanceamento

Classificação	Objetivo
Balanceamento tipo I	Minimizar o número de postos de trabalho, para um dado tempo de ciclo.
Balanceamento tipo II	Minimizar o tempo de ciclo, para um dado número de postos de trabalho
Balanceamento tipo III ou uniformização das cargas de trabalho	Atribuir uniformemente o trabalho total associado à montagem de um produto pelos vários postos de trabalho existentes, sem ultrapassar o tempo de ciclo definido.
Balanceamento tipo F	Encontrar uma solução possível, para um dado tempo de ciclo e número de postos de trabalho existentes.
Balanceamento tipo E	Maximizar a eficiência da linha, minimizando simultaneamente o tempo de ciclo e o número de postos de trabalho existentes.

Para além dos objetivos mencionados na Tabela 2-3, podem ainda ser definidos outros como a minimização de custos ou podem ser conjugados vários objetivos, para um balanceamento multiobjetivo.

2.3 Métodos de balanceamento de linhas de montagem

De forma geral, os métodos de resolução do problema de balanceamento procuram definir, para um dado objetivo, um conjunto de critérios segundo os quais as tarefas devem ser atribuídas aos postos de trabalho, tendo em conta possíveis restrições que possam existir. Assim, a resolução de um problema de balanceamento deve seguir as seguintes etapas:

- (i) identificação das variáveis de decisão, como o tipo de linha de montagem, o número de tarefas e de postos de trabalho, o tempo das tarefas, o tempo de ciclo e/ou o takt time da linha, entre outros;
- (ii) identificação das restrições, como as mencionadas na Tabela 2-2;
- (iii) definição do objetivo do balanceamento, de acordo com a Tabela 2-3;
- (iv) escolha do método para a resolução do problema.

De acordo com Battaia & Dolgui (2013), o problema de balanceamento de linhas de montagem pode ser resolvido através de diferentes métodos, que se dividem em duas categorias: métodos exatos e métodos aproximados. Os métodos exatos incluem métodos de otimização (programação linear, programação inteira, programação dinâmica) e *Branch and Bound*. Os métodos aproximados dizem respeito a heurísticas simples e meta-heurísticas.

Ao longo dos anos, vários autores apresentaram revisões de literatura e estudos comparativos sobre este tema: Baybars (1986) expôs uma revisão relativa a métodos exatos, Talbot et al. (1986) compararam diversas heurísticas, Ghosh & Gagnon (1989) realizaram uma análise sobre os diferentes métodos de concepção, balanceamento e sequenciamento de sistemas de montagem, Boysen et al. (2007) fizeram uma revisão de diversos métodos usados.

2.3.1 Métodos Exatos

A aplicação de métodos exatos a problemas de balanceamento de linhas simples é identificada na literatura (por exemplo, Bowman (1960), Roberts & Villa (1970) e Fortuny-Santos et al. (2020)). No entanto, para problemas com um elevado número de variáveis e/ou objetivos este tipo de resolução pode tornar-se pouco prática, pois requer muito tempo para obter uma solução (Eswaramoorthi et al., 2012).

a) Métodos de Otimização

Os métodos de otimização para a resolução do problema de balanceamento de linhas de montagem incluem modelos de programação linear, inteira e dinâmica.

Segundo Baybars (1986), Salveson resolveu, em 1955, um problema de balanceamento de linhas de montagem simples, com recurso a um modelo de programação linear. No entanto, a formulação de Salveson permitia a divisão de tarefas, o que podia originar soluções impossíveis. Bowman (1960) introduziu variáveis inteiras ao modelo apresentado por Salveson, apresentando assim um modelo de programação inteira.

Encontram-se inúmeros exemplos da aplicação de modelos de otimização na resolução do problema do balanceamento de linhas de montagem. Por exemplo, Roberts & Villa (1970) apresentam um modelo de programação inteira, em que as tarefas são atribuídas aos postos de trabalho, desde que cumpram as restrições de precedência, sendo a função objetivo correspondente à minimização do tempo de inatividade na linha.

Outro exemplo é Fortuny-Santos et al. (2020), que apresentam o estudo de um balanceamento de linhas multimodelo em que se pretende minimizar o número de postos de trabalho, para uma dada capacidade da linha pré-estabelecida. O balanceamento é obtido através do balanceamento isolado de cada um dos modelos de produtos, como balanceamento de linhas singulares, aplicando um modelo de programação inteira.

b) *Branch and Bound*

Os métodos de Branch and Bound, também incluídos na categoria de métodos de otimização, analisam um conjunto de soluções possíveis, à procura da solução ótima, através da divisão do problema inicial em subproblemas (ramos). São definidos limites inferiores e superiores que permitem medir a distância de um determinado ponto até à posição atual, para encontrar a solução ótima.

Existem vários exemplos de aplicações de algoritmos de *Branch and Bound* como é o caso dos métodos FABLE (Johnson, 1988), EUREKA (Hoffmann, 1992) e SALOME (Klein & Scholl, 1996). Outros autores também aplicaram este método a linhas de montagem simples, como Sprecher (1999) que realizou um balanceamento do tipo I, Wei & Chao (2011) que solucionaram um balanceamento do tipo E ou Azizoglu & İmat (2018) que apresentaram um balanceamento do tipo II.

2.3.2 Métodos Aproximados

O problema do balanceamento de linhas é, atualmente, considerado um problema do tipo NP-hard, pelo que, não é possível obter uma solução ótima de forma expedita. Por essa razão, a utilização de métodos aproximados permite obter soluções quase ótimas, em tempo útil (Tasan & Tunali, 2008).

a) Heurísticas Simples de Prioridade

De acordo com Bautista & Pereira (2002), existem vários tipos de heurísticas, sendo as heurísticas de prioridade as mais utilizadas para a resolução do problema de balanceamento de linhas de montagens.

As heurísticas de prioridade correspondem a regras definidas com base em características do problema em estudo (Lapierre & Ruiz, 2004), como o tempo de processamento de cada tarefa e/ou o número de tarefas precedentes. Estas regras estabelecem a prioridade pela qual as tarefas devem ser atribuídas aos postos de trabalho, respeitando as restrições associadas a um dado problema. As regras de prioridade mais comuns na literatura, estão presentes na Tabela 2-4. Estas regras têm sido utilizadas e testadas aos longo dos anos, por diversos autores como Hackman et al. (1989), Dar-El (2007) e Hazır et al. (2020), que propuseram heurísticas conjugando estas regras de prioridade.

A Heurística do Peso Posicional desenvolvida por Helgeson & Birnie (1961), é uma das heurísticas elementares mais conhecidas. A prioridade é estabelecida tendo em conta o peso posicional de uma tarefa, que corresponde à soma do seu

tempo de processamento e os tempos das tarefas que a sucedem, de acordo com as relações de precedência; a primeira tarefa a ser atribuída a um posto de trabalho é aquela que tem maior peso.

Tabela 2-4 – Regras de prioridade para o balanceamento

Designação	Regra de Prioridade	Autor
Heurística do Peso Posicional	Maior soma do tempo de processamento de uma tarefa com os tempos de processamento das tarefas que a sucedem.	(Helgeson & Birnie, 1961)
Heurística de Kilbridge e Wester	Menor número de tarefas precedentes	(Kilbridge & Wester, 1961)
Matriz de Precedências de Hoffmann	Menor número de tarefas precedentes imediatas (<i>smaller code number</i>)	(Hoffmann, 1963)
Heurística de Moodie-Young	Maior tempo de processamento da tarefa (<i>largest candidate rule</i>)	(Moodie, 1964)

Na heurística apresentada por Kilbridge & Wester (1961) as tarefas são classificadas de acordo com o número de precedentes; a tarefa com maior prioridade é a que tiver menor número de tarefas precedentes.

Hoffmann (1963) propõe a utilização de uma matriz de precedências, onde as tarefas são colocadas em linhas e colunas e, no interior da matriz, é inserido o valor 1, caso a tarefa da linha *i* seja antecessora imediata da tarefa da coluna *j*, ou 0, em caso contrário. Em seguida, para cada coluna é calculado o “*code number K*”, que consiste na soma dos números da coluna para a qual está a ser calculado. A primeira tarefa a ser atribuída é a que, na matriz, da esquerda para a direita, tiver menor *code number*. As tarefas são assim atribuídas a um dado posto de trabalho, enquanto existir tempo disponível no posto. Quando o tempo total das tarefas atribuídas a um dado posto de trabalho é igual ao tempo de ciclo, inicia-se a atribuição das tarefas a um novo posto de trabalho. Nesse momento, é construída uma nova matriz de precedências que contém apenas as tarefas que ainda não foram atribuídas.

A Heurística de Moodie-Young (Moodie, 1964) consiste num procedimento de duas fases: (i) as tarefas são atribuídas segundo a regra de prioridade “maior tempo de processamento da tarefa” até se atingir o tempo total disponível no posto de trabalho e respeitando as relações de precedência, (ii) analisam-se os resultados do primeiro balanceamento e verifica-se se é possível transferir tarefas de um posto de trabalho para outro, de forma a obter uma distribuição que minimize o tempo de inatividade e o distribua de forma mais equitativa entre os postos.

O conceito de regra flexível foi descrito por Scholl & Becker (2006), como sendo uma adaptação das regras de prioridade: uma regra flexível pressupõe a identificação das regras que melhor se adequam ao problema em análise, através do conhecimento na estrutura do problema. Os autores consideraram que este tipo de regras representavam uma melhoria em relação às regras de prioridade clássicas.

Otto & Otto (2014) apresentam um estudo sobre a implementação de regras de prioridade eficazes, para problemas de balanceamento de linhas de montagem simples. De acordo com os autores, as regras de prioridade podem ser classificadas como elementares ou compostas. No caso das elementares, os valores da prioridade são atribuídos tendo em conta uma única regra. Nas heurísticas de prioridade composta, os valores de prioridade são obtidos pela combinação de critérios de prioridade elementares.

Nos procedimentos baseados em heurísticas de prioridade, as tarefas são, primeiramente, classificadas de acordo com o critério definido como regra de prioridade. Em seguida, a tarefa com maior prioridade é atribuída a um posto de trabalho, respeitando as regras de precedência, as limitações de tempo e incompatibilidades que possam existir (Bautista & Pereira, 2002). Sempre que uma tarefa é atribuída a um posto de trabalho, o número de tarefas por atribuir e o tempo disponível no posto de trabalho são atualizados (Talbot et al., 1986).

O processo de atribuição das tarefas foi distinguido por Scholl & Voß (1997) como sendo orientado pelo posto de trabalho ou orientado pelas tarefas. Nos

procedimentos orientados pelo posto de trabalho, a tarefa com maior prioridade é atribuída ao primeiro posto de trabalho. As tarefas continuam a ser sucessivamente atribuídas a esse posto de trabalho enquanto existir tempo disponível no mesmo. Após o tempo de ciclo no posto de trabalho ser atingido inicia-se a atribuição ao posto seguinte. Para as atribuições orientadas pelas tarefas, a tarefa de maior prioridade é atribuída ao primeiro posto de trabalho disponível.

As heurísticas de prioridade podem ser conjugadas e integradas em outros métodos de balanceamento, como nos métodos de *Branch and Bound* ou nas meta-heurísticas, para melhorarem os procedimentos de atribuição das tarefas ou serem utilizadas como soluções intermédias.

b) Meta-heurísticas

Ao nível das meta heurísticas, os modelos mais comuns na literatura são o algoritmo genético, o algoritmo da colónia de formigas e o algoritmo de evolução diferencial (Eswaramoorthi et al., 2012).

O algoritmo genético foi introduzido por John Holland em 1975, sendo um método de pesquisa estocástica e iterativa, baseado na teoria evolucionária de Darwin (Yu & Yin, 2010). A pesquisa é desenvolvida através das seguintes fases: (i) atribuição de um código aleatório a cada elemento da população inicial; (ii) seleção dos elementos mais adequados; (iii) geração de uma nova população com base nos elementos que não foram eliminados em (ii); (iv) seleção dos pares de elementos que representam as melhores adaptações.

Exemplos de autores que utilizaram este algoritmo são Ponnambalam et al. (2000), Simaria & Vilarinho (2004) e Gen et al. (2008). Ponnambalam et al. (2000) utilizam um algoritmo genético com objetivos múltiplos e, recorrendo a 14 regras de prioridade, obtiveram o peso posicional para cada tarefa com base nas pontuações obtidas com cada uma das regras de prioridade. Simaria & Vilarinho (2004) utilizam um algoritmo genético para o balanceamento do tipo II, aplicado a uma linha de montagem mista. Gen et al. (2008) apresentou um algoritmo genético com múltiplos objetivos, adaptado a linhas de montagem simples e gerais.

Relativamente ao algoritmo de evolução diferencial, este tem como objetivo adaptar a pesquisa, para obter melhores resultados, à medida que esta evolui no tempo (Pitakaso, 2015). Assim, este algoritmo é composto por quatro fases: (i) identificação dos vetores iniciais; (ii) mutação, onde são excluídas as piores soluções; (iii) recombinação da região de soluções não excluídas e identificação de novas soluções; (iv) seleção da melhor solução.

Referem-se os autores Nearchou (2008) e Mozdgir et al. (2013), como exemplo da aplicação deste algoritmo para a resolução do problema de balanceamento. Nearchou (2008) recorre a um algoritmo de evolução diferencial para o balanceamento de linhas simples, em que são considerados múltiplos objetivos como: (i) minimizar o tempo de ciclo e o tempo de inatividade nos postos de trabalho; (ii) minimizar o tempo de ciclo e da linha; (iii) uniformizar a distribuição das cargas de trabalho pelos postos de trabalho. Mozdgir et al. (2013) utilizam este algoritmo para uniformizar a distribuição das cargas de trabalho, aplicado a problema do tipo III, com um número fixo de postos de trabalho e relações de precedências entre as tarefas.

Em relação ao algoritmo da colónia de formigas, este baseia-se no comportamento das formigas para recolherem alimentos para a sua colónia (Zheng et al., 2013): quando as primeiras formigas deixam o formigueiro para irem à procura de alimento, enviam informações às restantes formigas (através das feromonas) sobre o caminho que seguiram. Assim, as formigas seguintes tendem a optar pelo caminho com mais informação (com maior quantidade de feromonas), evitando andar a percorrer trajetos aleatórios e, desta forma, otimizando o seu percurso.

A propósito deste algoritmo, também são referidos dois autores como exemplo. Bautista & Pereira (2002) utilizam o algoritmo da colónia de formigas, aplicado a uma linha de montagem de bicicletas, em Barcelona, onde se pretendia minimizar o número de postos de trabalho, para um dado tempo de ciclo. McMullen & Tarasewich (2006) desenvolvem um algoritmo de colónia de formigas para o balanceamento de uma linha geral, dedicada ao modelo de montagem mista e onde se pretendem alcançar vários objetivos.

2.3.3 Métodos académicos de balanceamento e as linhas de montagem reais

De acordo com Sternatz (2014), os métodos de balanceamento para serem aplicáveis a linhas de montagem devem ser: (i) abrangentes, refletindo todos os aspetos relevantes do problema em estudo, (ii) eficientes e eficazes, garantindo uma solução quase ótima em pouco tempo e (iii) flexíveis, com capacidade para incluir outros fatores que possam ser relevantes para a produtividade da linha.

No entanto, apesar dos vários métodos disponíveis na literatura para a resolução do problema do balanceamento de linhas de montagem, autores como Bautista & Pereira (2002), Lapierre et al. (2006), Boysen et al. (2007) e Fortuny-Santos et al. (2020) salientam as diferenças que existem entre os métodos académico e a aplicação de um método a um caso real. Estes autores defendem que as particularidades das linhas de montagem reais, das indústrias, não são contempladas nos modelos matemáticos académicos. Battaia & Dolgui (2013) mencionam que, apesar de existir um esforço crescente por parte da comunidade académica por adaptarem os métodos de balanceamento aos casos práticos, continuam a existir falhas entre os métodos académicos de balanceamento e a sua aplicação a situações reais.

Cannas et al. (2018) afirmam que a maioria das empresas não utilizam os métodos académicos de balanceamento pelas seguintes razões:

- (i) os métodos académicos não refletem a complexidade e variabilidade das linhas de montagem nas indústrias, sobretudo porque existem várias restrições que têm de ser consideradas e tarefas que exigem condições de trabalho especiais, que não são contempladas nesses métodos;
- (ii) os métodos académicos não são facilmente adaptáveis às alterações a que as linhas de montagem estão sujeitas, nomeadamente, aumentos da procura, modificações nos produtos, reduções ou aumentos nos tempos das tarefas, entre outros;

(iii) a falta de comunicação e de partilha de conhecimento entre os investigadores e as empresas, dificulta, por um lado, a integração das particularidades das linhas por parte dos investigadores nos métodos académicos e, por outro, a aplicação dos melhores métodos pelos engenheiros nas empresas.

Por essa razão, segundo Lapiere & Ruiz (2004), pode ser vantajoso utilizar heurísticas de prioridade simples, que podem facilmente ser adaptadas a diferentes cenários, para incluir as particularidades das linhas de montagem das empresas. O autor defende a utilização das heurísticas simples, em oposição a utilizar outros métodos como as meta-heurísticas que, apesar de permitirem obter melhores resultados, através de combinações de probabilidade e iterações, são mais complexos e limitados.

2.4 Indicadores de Desempenho do Balanceamento

De acordo com Kilbridge & Wester (1961) e Ponnambalam et al. (1999), o balanceamento ideal é obtido quando o tempo total das tarefas atribuídas a cada um dos postos de trabalho é igual ao tempo de ciclo.

Na literatura podem ser encontrados diferentes indicadores para avaliar o desempenho de um balanceamento (Nearchou, 2008, Azizoglu & İmat, 2018b). Entre eles destacam-se quatro indicadores, que são referidos na Tabela 2-5, onde se encontram as expressões matemáticas que definem cada um deles.

a) Eficiência da Linha (EL)

A eficiência da linha corresponde ao quociente entre o somatório do tempo de trabalho em cada posto de trabalho e o produto do tempo de ciclo pelo número de postos de trabalho (ou operadores na linha) (Ponnambalam et al., 1999). Quanto maior é a eficiência da linha, melhor é o nível de balanceamento.

Tabela 2-5 – Principais indicadores de desempenho do balanceamento.

Indicador	Expressão Matemática	Notação
<i>EL</i>	$EL = \frac{\sum_{i=1}^K t(Sk)}{c * k} * 100$	<i>t(Sk)</i> : Tempo do posto de trabalho <i>k</i> <i>k</i> : número total de postos de trabalho <i>c</i> : tempo de ciclo
<i>TI</i>	$TI = \frac{M.O.T - A.O.T}{M.O.T} * 100$	<i>M.O.T</i> : Tempo máximo de processamento da tarefa <i>A.O.T</i> : Tempo médio de processamento da tarefa
<i>MDA</i>	$MDA = t(Sk) - \frac{T}{n(D)} $	<i>t(Sk)</i> : Tempo do posto de trabalho <i>k</i> <i>n(D)</i> : número de postos de trabalho necessários para se atingir uma taxa de produção <i>D</i> <i>T</i> : soma dos tempos necessários para a execução das tarefas de montagem $\frac{T}{n(D)}$: média dos tempos de trabalho num posto de trabalho
<i>IU</i>	$IU = \sqrt{\sum_{k=1}^k (c - t(S_k))^2}$	<i>c</i> tempo de ciclo <i>k</i> : número total de postos de trabalho <i>t(Sk)</i> : Tempo do posto de trabalho <i>k</i>

b) Tempo de Inatividade (TI)

O saldo do tempo de inatividade é calculado a partir do quociente do tempo médio de inatividade e o tempo total utilizado para produzir uma unidade, desde o primeiro posto de trabalho da linha até ao último (Kilbridge & Wester, 1961). Quanto menor é o valor do indicador, menor é o tempo de inatividade na linha de montagem e por isso, mais eficiente é o balanceamento (Nearchou, 2008).

c) Média dos Desvios Absolutos (MDA)

A média dos desvios absolutos corresponde à soma das diferenças absolutas entre a carga de trabalho de cada um dos postos de trabalho e a carga média

de trabalho da linha de montagem (obtida pelo quociente entre o tempo total de trabalho na linha e o número de postos de trabalho) (Rachamadugu & Talbot, 1991).

d) Índice de uniformização (IU)

O índice de uniformização quantifica a uniformização da distribuição da carga de trabalho pelos diferentes postos de trabalho (Nearchou, 2008). Quanto mais próximo de zero for o valor do indicador, melhor distribuída a carga de trabalho está e, conseqüentemente, melhor é o balanceamento (Azizoğlu & İmat, 2018b).

2.5 Ferramentas Lean para linhas de montagem manual

Segundo Pereira et al. (2019), a metodologia Lean tem como objetivo melhorar continuamente os sistemas e processos através da eliminação de atividades de valor não acrescentado, do ponto de vista do cliente (desperdícios). De acordo com Slack et al. (2013), o Lean é um conjunto de métodos e ferramentas para melhorar a eficiência das operações.

No caso das linhas de montagem manual, podem ser identificados diferentes tipos de desperdícios nomeadamente, (i) movimentações de operadores e/ou transportes de materiais desnecessários, (ii) falta de uniformização dos procedimentos de trabalho, (iii) problemas de qualidade (produções com defeitos ou erros, *reworks*), (iv) insuficiente formação e treino dos operadores, (v) tempos de *setup* elevados, entre outros. A eliminação destes desperdícios permite às empresas reduzirem o tempo de ciclo dos seus processos tornando-se, assim, mais eficientes, produtivas e competitivas (Kumar & Kumar, 2014).

Para eliminar desperdícios e aumentar a eficiência das suas linhas, as empresas procuram, então, implementar melhorias de forma contínua, através da aplicação de ferramentas Lean. Estas permitem desenvolver processos simples e

uniformizados, à prova de erro, envolvendo todas as pessoas associadas ao processo, para gerar melhorias efetivas e duradouras. Exemplos dessas ferramentas, são o estudo dos tempos e análise do processo e a standardização do trabalho (Oliveira et al., 2017), que são fáceis de aplicar e de manter, além de serem eficazes na eliminação de desperdícios.

Os autores Kumar & Kumar (2014) apresentaram um estudo de caso, numa indústria automóvel, onde pretendiam reduzir o tempo de ciclo, através da implementação de ferramentas Lean, nomeadamente o estudo dos tempos e análise do processo e standardização dos procedimentos de trabalho. Rosa et al. (2017) implementaram um conjunto de ferramentas Lean, entre as quais a standardização do trabalho para aumentar a qualidade e a produtividade de uma linha de montagem de cabos de aço, numa indústria automóvel.

Cannas et al. (2018) melhoraram o desempenho da linha de montagem, de uma indústria do setor alimentar, efetuando o balanceamento da mesma, através do estudo dos tempos e análise do processo e da standardização do trabalho (implementação de instruções de trabalho e utilização do gráfico de Yamazumi). Correia et al. (2018) aplicaram, para além do balanceamento, a standardização dos procedimentos de trabalho, a uma linha de montagem manual de componentes eletrónicos, para melhorarem a eficiência e a produtividade da mesma.

Rosa et al. (2018) apresentam um estudo de caso onde utilizam o estudo dos tempos e a análise de operações numa linha de montagem, da indústria automóvel, para melhorar a produtividade da mesma. Referem as vantagens de implementar este tipo de metodologias para identificar problemas e ineficiências, a um baixo custo e, melhorar a produtividade do processo, através da eliminação de atividades de valor não acrescentado, do tempo de inatividade e outras formas de desperdício.

A metodologia Lean defende que toda a organização deve intervir no processo de melhoria contínua e que os colaboradores devem ser consultados e as suas ideias e sugestões devem ser valorizadas (Ortiz, 2006). Desta forma é, possível promover a criatividade dos colaboradores, capitalizar a sua experiência,

conhecimento e fazer com que estes sintam que o sucesso da empresa depende do seu bom desempenho (Pinto, 2009).

Para a identificação de problemas e oportunidades de melhoria pode recorrer-se ao relatório A3. Esta ferramenta de melhoria contínua permite comunicar, de forma visual, os problemas encontrados e as soluções definidas, entre todos os envolvidos no projeto. Em Pereira et al. (2019) foi implementado um relatório A3 para aumentar o nível de produtividade de uma linha de montagem, através da identificação e eliminação de atividades de valor não acrescentado, standardização dos procedimentos de trabalho e através da monitorização de indicadores de desempenho (*Key Performance Indicators* - KPI's), considerados relevantes para a organização.

2.5.1 Relatório A3

O relatório A3 é uma ferramenta para a resolução de problemas e melhoria contínua, utilizada para a identificação de desperdícios em processos produtivos. Esta ferramenta pode ser usada para reunir uma equipa para a resolução de um determinado problema ou desenvolvimento de um projeto, facilitando a comunicação da estratégia entre gestores de topo e colaboradores e definindo as responsabilidades de todas as pessoas envolvidas (Pinto, 2009).

A estrutura mais comum do A3 contém as seguintes secções (Lenort et al., 2017): (1) background, (2) estado atual, (3) condição alvo, (4) análise das causas raiz, (5) plano de implementação, (6) plano de acompanhamento.

Um relatório A3 pressupõem a definição do problema e dos motivos do projeto, através da identificação do estado inicial (conhecido de *as-is*) e das condições de funcionamento do sistema que carece de melhorias.

Estabelecem-se os objetivos pretendidos, ou seja, define-se o estado futuro (também designado por *to-be*) para o sistema em análise. Nesta fase deve ser conduzida uma análise sistemática das principais causas do problema.

Em seguida, é definido um plano para eliminar as causas do problema, onde são enumeradas e calendarizadas as ações a implementar para atingir os objetivos traçados. Devem ainda ser incluídas, nesta análise, métricas ou KPI's para avaliar a eficácia das medidas aplicadas.

Após a conclusão das ações, devem ser conduzidas reuniões de acompanhamento do processo, para garantir o bom funcionamento do mesmo. Estas reuniões revelam eventuais necessidades de intervenção em caso de desvios e/ou falhas na execução.

2.5.2 Estudo do Tempos e Análise do Processo

O estudo dos tempos e a análise do processo são ferramentas da metodologia Lean, cujo objetivo é examinar a forma como um determinado processo é executado. Com o estudo dos tempos e a análise do processo pretende-se: (i) simplificar ou modificar o método, para reduzir trabalho e/ou recursos desnecessários ou excessivos, identificando os tempos de *setup*, os tempos de inatividade e outros possíveis desperdícios ou (ii) estabelecer um tempo standard para desempenhar uma determinada atividade (Duran et al., 2015).

Numa linha de montagem, a aplicação destas ferramentas consiste na observação e análise do processo executadas em cada posto de trabalho e ao longo da linha, assim como na medição dos tempos nas mesmas. Desta forma, é possível identificar o estado atual de um determinado processo e situações que possam ser melhoradas. Esta análise está associada ao conceito de "*gemba walk*" (traduzido livremente como "passeio no chão de fábrica") introduzido pela metodologia Lean, que defende que os responsáveis pelos processos devem visitar regularmente o chão de fábrica para entender o processo e identificar problemas (Slack et al., 2013).

Os tempos standards de cada tarefa e em cada posto de trabalho, bem como o tempo de ciclo da linha, podem ser determinados através da medição dos tempos. De acordo com Chauvet (1999), a medição dos tempos é uma das técnicas

mais eficazes para a compreensão de um fenómeno. Um dos métodos mais vulgarizados para o estudo do tempo é a cronometragem, que foi inicialmente introduzida na indústria por Frederick Taylor, em 1880 (Meyers & Stewart, 2002).

A cronometragem consiste na recolha dos tempos de execução das tarefas, quando estas estão a ser desempenhadas em condições de trabalho normais e por operadores qualificados. Para a cronometragem de uma tarefa é necessário identificar os elementos que assinalam o início e o fim da tarefa. Para cada tarefa observada deve recolher-se um determinado número de registos, de forma a obter uma média do tempo, considerada representativa. Numa linha de montagem, ao serem cronometradas, as tarefas devem ser distinguidas em tarefas cíclicas e acíclicas. As tarefas cíclicas repetem-se em cada ciclo de trabalho, enquanto as tarefas acíclicas ocorrem ocasionalmente. Caso a linha de montagem seja semiautomática, podem ainda ser distinguidos os tempos das tarefas manuais e das tarefas automáticas.

De acordo com Ortiz (2006) e Cannas et al. (2018), a análise do processo e o estudo dos tempos são etapas fundamentais para balancear uma linha de montagem, pois permitem identificar as atividades de valor acrescentado, eliminar desperdícios e identificar o melhor layout para o fluxo de materiais da linha. Segundo estes autores, a inclusão dos operadores no processo de balanceamento pode também ajudar a definir a melhor distribuição das tarefas pelos postos de trabalho, de forma a uniformizar a carga de trabalho, ao longo da linha. Cannas et al. (2018), refere ainda a importância da análise das atividades para a standardização, visto que a análise das atividades pode contribuir para a definição da forma mais eficiente de executar cada tarefa.

2.5.3 Standardização do Trabalho

A falta de uniformização nos processos é designada na metodologia Lean por "Mura" (Slack et al., 2013). A falta de standards promove a ocorrência de desvios e variabilidade nos processos, o que pode originar desperdícios. Por essa

razão, é necessário recorrer à standardização do trabalho, definindo a melhor e mais segura forma de executar um trabalho (Ortiz, 2006).

De acordo com Oliveira et al. (2017), a standardização do trabalho tem quatro objetivos: (i) diminuir a variabilidade através do controlo do processo e da identificação e eliminação de anomalias, (ii) reduzir custos, através da eliminação de desperdícios gerados por procedimentos de trabalho ineficientes, (iii) aumentar a qualidade do produto, pois a existência de uma referência de trabalho e a repetição da mesma, diminui a probabilidade de erros e (iv) envolver os colaboradores na definição das melhores práticas de trabalho.

Quando existe um standard passível de ser medido e mensurado é possível ter uma referência de trabalho, identificar e implementar melhorias a partir desse estado inicial (Pereira et al., 2016). A standardização do trabalho permite definir o tempo necessário para a execução de uma determinada tarefa (tempo standard).

A standardização do trabalho deve ser feita com o contributo dos operadores e deve ser encarada como forma de disseminação do conhecimento e como uma plataforma de aprendizagem (Ortiz, 2006). Segundo Pinto (2009), a standardização dos procedimentos de trabalho implica que todos os envolvidos no processo respeitem a mesma sequência, as mesmas operações e as mesmas ferramentas.

A standardização não deve fazer com que os procedimentos sejam permanentes, mas antes melhorados continuamente, a partir de pequenas mudanças, para minimizar os riscos, avaliar os ganhos e, rapidamente, ser estabelecida a próxima norma (Martin & Bell, 2017).

Associado ao trabalho standard podem ser implementadas ferramentas de controlo de processos e gestão visual que ajudam a estabelecer as melhores práticas para um determinado local de trabalho (Pinto, 2009). Estas funcionam como suporte para a formação e aprendizagem dos operadores e permitem a monitorização do processo. Exemplos destas ferramentas são as instruções de trabalho, os digramas de esparguete e os gráficos de Yamazumi. Estes documentos devem

estar disponíveis num local de fácil acesso na linha ou nos postos de trabalho, para que os operadores os possam consultar com regularidade.

a) Instruções de Trabalho

As instruções de trabalho, também conhecidas como instruções de produção e controlo são documentos standard que contêm informação relativa à melhor forma de execução do trabalho.

No caso das linhas de montagem manual, essas instruções correspondem a um conjunto de regras e procedimentos operacionais que são formalizados e executados num determinado posto de trabalho. Desta forma, servem de suporte aos operadores, contribuindo para a diminuição de erros durante o processo de montagem manual (Pimminger et al., 2020).

Estes documentos contêm informações sobre os materiais a serem montados no posto de trabalho, a melhor sequência de montagem e outras indicações relevantes para a correta execução do trabalho (Pereira et al., 2016). Devem conter indicações simples e claras, que podem ser acompanhadas de imagens ou esquemas para tornar o procedimento mais compreensível.

b) Diagrama de Esparguete

De acordo com os princípios Lean, um dos desperdícios que deve ser eliminado são as deslocações desnecessárias dos operadores, visto que estas são contabilizadas no tempo de trabalho do operador e contribuem para a acumulação de fadiga (Pinto, 2009).

Para combater esse desperdício, pode utilizar-se o diagrama de esparguete, que é uma ferramenta de gestão visual, que estabelece a rota de movimentação de cada operador na linha de montagem. A rota definida no diagrama, para cada operador, deve minimizar as movimentações desnecessárias e excessivas, diminuindo, assim, o tempo despendido em atividades de valor não acrescentado. Na

Figura 2-5 apresenta-se um exemplo de um diagrama de esparguete, adaptado de Wilson (2009).

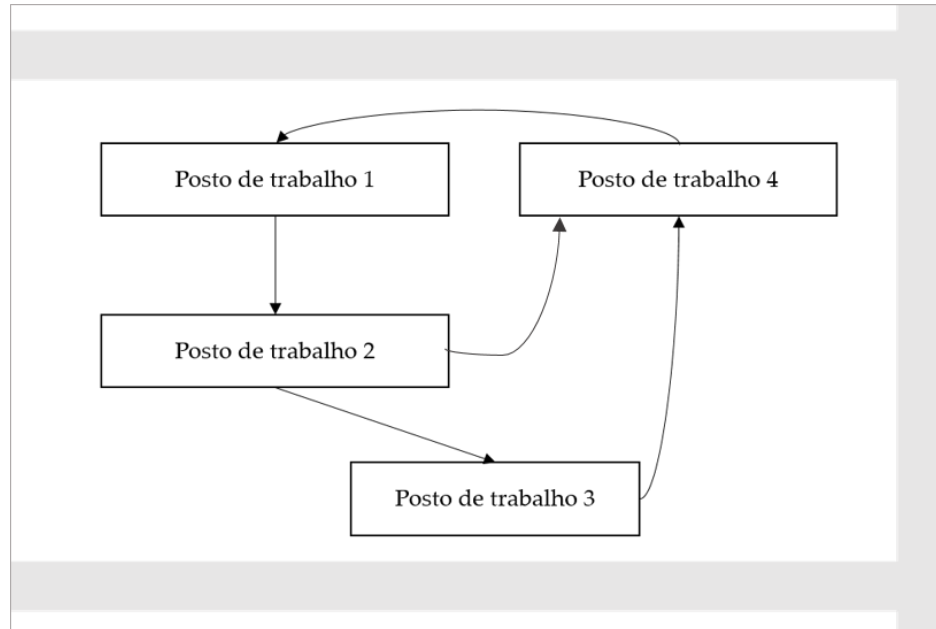


Figura 2-5 - Diagrama de esparguete.
Adaptado de Wilson (2009).

Para a construção deste diagrama é necessário reunir informação sobre o layout da linha e das deslocações de cada operador, bem como o tempo das tarefas em cada posto de trabalho e o tempo de ciclo. As movimentações de cada operador são representadas através de setas.

c) Gráfico de Yamazumi

O gráfico de Yamazumi é uma ferramenta de gestão visual em que é representado, através de gráficos de barras, o equilíbrio das cargas de trabalho, numa linha de montagem. Este gráfico é utilizado para representar o tempo total das tarefas em cada um dos postos de trabalho em relação ao tempo de ciclo e ao takt time definidos para a linha de montagem (Nagi et al., 2017).

No gráfico, o eixo das abcissas representa os postos de trabalho da linha e o eixo das ordenadas, os tempos de tarefas em cada posto de trabalho. Um exemplo de um gráfico de Yamazumi é apresentado na Figura 2-6.

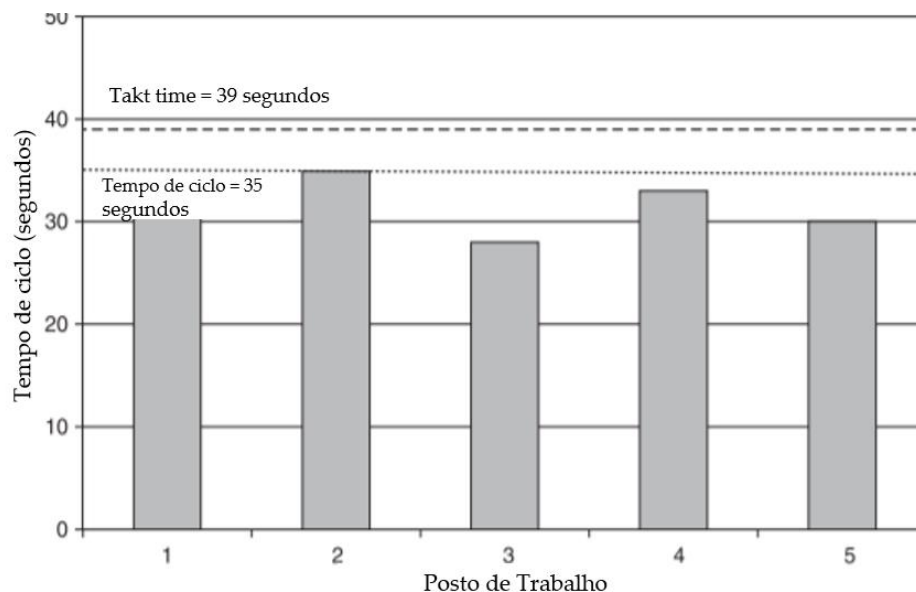


Figura 2-6 - Gráfico de Yamazumi.
Adaptado de Wilson (2009).

Para a construção deste gráfico é necessário recolher informações sobre o número de postos de trabalho e operadores, na linha de montagem, as tarefas atribuídas a cada posto de trabalho e os tempos de execução das mesmas.

Esta ferramenta serve dois propósitos: (i) no momento do balanceamento de uma linha permite documentar os tempos standard de cada posto de trabalho, bem como o tempo de ciclo que se espera obter na linha; (ii) após a linha estar balanceada, permite o controlo do processo e a identificação de desvios nos tempos das tarefas, face aos tempos standard definidos.

3

Capítulo 3 - Estudo de Caso

Este capítulo é dedicado à apresentação da empresa onde foi elaborado o estudo de caso, a Bosch Security Systems (grupo Bosch) e onde foi realizado o estágio curricular associado à presente dissertação. É, ainda, efetuada uma caracterização da linha de montagem manual que foi utilizada como unidade de análise do caso de estudo. São apresentadas as principais evidências recolhidas durante a análise das atividades e estudo dos tempos na mesma.

Por razões de confidencialidade algumas das informações da empresa (como valores, nomes e códigos, números de produtos montados na linha de montagem e número de componentes que integram os produtos) foram modificadas e/ou ocultadas. As restantes informações são partilhadas com o consentimento da Bosch Ovar (anexo A).

3.1 Grupo Bosch

A história da Bosch remonta ao ano de 1886, quando Robert Bosch fundou, em Estugarda, na Alemanha, uma oficina de mecânica de precisão e engenharia elétrica, que se dedicava a instalar sistemas de telefone e campainhas elétricas. No ano seguinte, iniciou a produção de aparelhos de ignição para gerar eletricidade em edifícios e, em 1902, a empresa introduziu os seus sistemas de

ignição para a indústria automóvel, tornando-se líder do mercado nesta área. Em 1910, a Bosch já tinha representantes em todos os continentes.

Desde então, o grupo Bosch ultrapassou diversos desafios, evoluindo e adaptando as suas áreas de negócio às necessidades do mercado. No início dos anos 50, a Bosch diversificou ainda mais o seu portefólio, com a introdução de pequenos eletrodomésticos, como equipamentos de cozinha, berbequins elétricos e máquinas de lavar a roupa. Em 1959, a Bosch começou a desenvolver circuitos integrados para sistemas de injeção de gasolina, procurando tornar a eletrónica um elemento fundamental da empresa. Atualmente, o Grupo Bosch é líder no fornecimento de tecnologia e serviços, operando em mais de 150 países e empregando cerca de 395.000 colaboradores em todo o mundo.

Como é apresentado na Figura 3-1, as operações do grupo estão, presentemente, divididas em quatro áreas de negócio: (1) Soluções de Mobilidade, (2) Tecnologia Industrial, (3) Bens de Consumo e (4) Energia e Tecnologia de Edifícios.

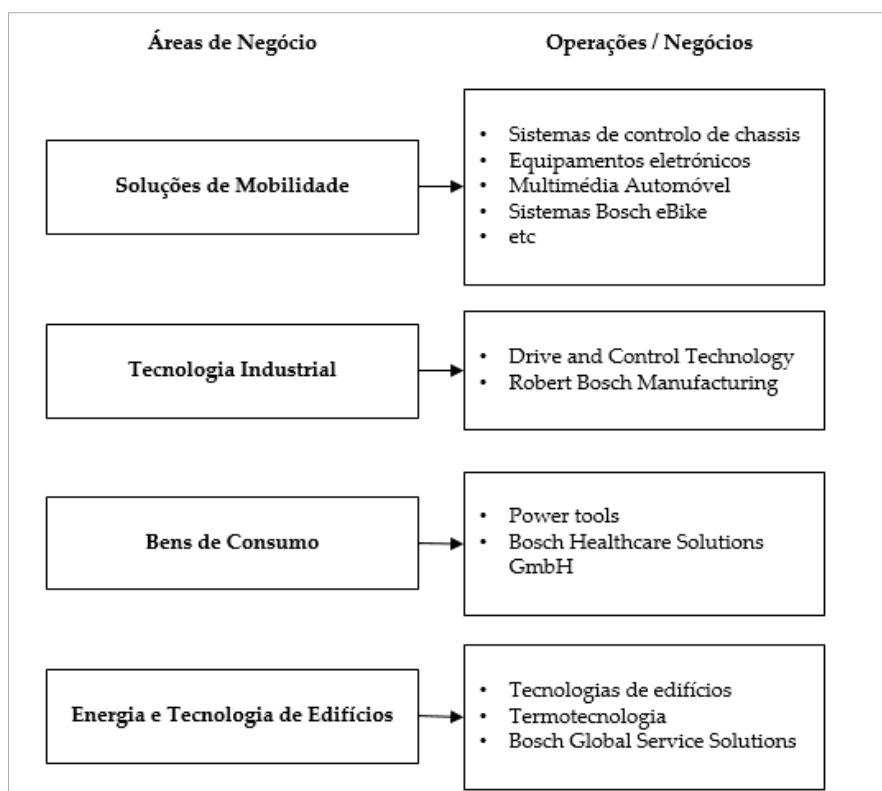


Figura 3-1 - Áreas de negócio do Grupo Bosch.

Existem três empreendimentos fabris do grupo Bosch, em Portugal, localizados em Aveiro (Bosch Termotecnologia), Ovar (Bosch Security Systems) e Braga (Bosch Car Multimedia). Estas fábricas, em conjunto, em 2019, empregavam cerca de 6360 colaboradores e obtiveram cerca de 1,8 mil milhões de euros de receitas em vendas. Existe ainda uma sede comercial em Lisboa, que permite centralizar vários serviços, como vendas, marketing e formação.

3.2 Bosch Security Systems de Ovar

Em Portugal, a Bosch Security Systems situa-se na zona industrial de Ovar, no distrito de Aveiro, desde 2002, altura em que a Bosch adquiriu a Divisão de Security Systems da Philips, situada nesse mesmo local.

A unidade de Ovar pertence à área de Tecnologia de Edifícios e é dedicada à produção de tecnologias de eletrónica para sistemas de segurança (videovigilância, de deteção de incêndios e de controlo de acesso), displays eletrónicos e outros produtos para diferentes unidades de negócio no Grupo Bosch.

Em 2012 a unidade passou também a incluir uma área de investigação e desenvolvimento, que tem contribuído para o seu crescimento. Já em 2017, a área de produção foi expandida, correspondendo atualmente a 7000m². Atualmente, a Bosch Ovar de Ovar emprega cerca de 720 colaboradores.

Nesta unidade fabril podem ser distinguidas, essencialmente, três tipos de linhas: (i) linhas de montagem automáticas de *Surface Mounting Technology* (SMT) onde é realizada a montagem dos PCBAs para as restantes linhas de montagem; (ii) linhas de montagem manual *Through-Hole Technology* (THT), onde os componentes eletrónicos são inseridos e soldados nos PCBAs; (iii) linhas finais onde é feita a montagem dos PCBAs completos aos revestimentos plásticos (*housings*), para obter o produto final.

Em 2020, os departamentos de operações da Bosch Ovar foram reformulados, estando agora organizados por áreas funcionais, denominadas por *Value Stream's*. Neste tipo de estrutura organizacional, pretende-se criar equipas mul-

tidisciplinares, eliminando barreiras entre as diferentes áreas que integram a engenharia de produção e processo numa empresa (gestão de projetos, logística interna, qualidade e operações). Assim, um departamento *Value Stream* é constituído por um *value stream manager*, responsável pela gestão de uma equipa composta por engenheiros de diversas áreas (engenharia industrial, engenharia mecânica, qualidade, planeamento de produção, logística interna, entre outros), em oposição aos departamentos tradicionais exclusivamente dedicados a uma área específica.

Existem três equipas de *Value Stream*, sendo uma delas o *Value Stream Contract Manufacturing* (VSCM), onde foi realizado o estágio curricular no âmbito da presente dissertação.

O departamento de VSCM é dedicado à produção de circuitos integrados para diferentes produtos, sendo responsável por linhas de montagem manual (THT's), linhas de sub-montagem (onde são formatados alguns dos componentes que integram as restantes linhas) e linhas finais. O presente estudo de caso foi desenvolvido numa das linhas manuais do VSCM, a linha de montagem manual THTx-A.

3.3 Linha de montagem manual THTx-A

A linha THTx-A é uma linha de montagem manual, multimodelo, dedicada à montagem de circuitos eletrónicos que são incorporados em controladores de caldeiras. Esta linha pertence ao conjunto de linhas THTx composto por dois braços independentes, A e B, onde se procede à inserção manual de componentes eletrónicos (resistências, díodos, transístores, entre outros) em PCBAs e, por um braço mecânico partilhado, onde ocorre um processo de soldadura para fixar os componentes inseridos manualmente no PCBA.

Em ambos os braços da linha, a montagem das placas é feita de forma sequencial, ao longo dos vários postos de trabalho, com recurso a *conveyors* para a movimentação das placas entre postos de trabalho. Quando um operador finaliza as suas tarefas de montagem, aciona o *conveyor*, através de um botão ou pedal

que transporta o PCBA montado até ao posto de trabalho seguinte (linha de montagem assíncrona).

Quando a montagem de uma placa é concluída, esta é colocada, por um operador do respetivo braço, em caixilhos que se deslocam através de um sistema de correias automático, percorrendo o braço mecânico, comum aos braços A e B.

Primeiramente os caixilhos são sujeitos a uma inspeção para garantir que todos os componentes estão corretamente inseridos. Este procedimento é denominado por inspeção de face A e é realizado na máquina de inspeção de qualidade. O software desta máquina identifica, através da leitura de um código de barras colocado nas placas, qual o produto que está a ser fabricado e a respetiva posição dos seus componentes. Nesta inspeção pode ocorrer uma de quatro situações: (i) não são detetadas falhas e o caixilho segue para a próxima fase, (ii) é detetada a falta de um ou mais componentes, (iii) um ou mais componentes estão mal posicionados, (iv) a máquina identifica um erro que não se verifica, considerado um falso erro. Caso se identifique alguma falha, é emitido um alerta sonoro e uma imagem do local exato na placa onde está a falha. O caixilho fica bloqueado na máquina até que um operador se desloque ao equipamento para identificar e resolver a falha (se a falha for numa placa do braço A tem de ser um operador do braço A, caso contrário tem de ser um operador do braço B).

Em seguida, os caixilhos seguem para uma máquina de soldadura, onde são soldados de forma automática. À saída da máquina de soldadura, os caixilhos são novamente inspecionados, desta vez em relação aos pontos de soldadura. Esta etapa é conhecida por inspeção de face B e também é realizada numa máquina de inspeção da qualidade.

No final do braço partilhado existe mais um posto de trabalho, onde um operador é responsável por retirar as placas soldadas dos caixilhos, colocá-las numa máquina de corte ou fresagem (dependendo do produto) e acomodá-las em cassetes (contentores de acomodação e transporte de placas), para que possam ser enviadas para as linhas finais. Caso a máquina de inspeção B detete uma

falha nos pontos de soldadura, o operador deste posto de trabalho procede à reparação manual do ponto.

O layout da linha THTx está representado na Figura 3-2. A linha THTx-A está localizada à direita (linha tracejada a laranja), com os seus cinco postos de trabalho (assinalados com números a laranja). À esquerda localiza-se o braço B (linha tracejada a verde). Ao centro localiza-se o braço mecânico partilhado, constituído por duas máquinas de inspeção de qualidade (A e B) e por uma máquina de soldadura. No final desse braço está localizado um posto de trabalho partilhado (linha tracejada a azul).

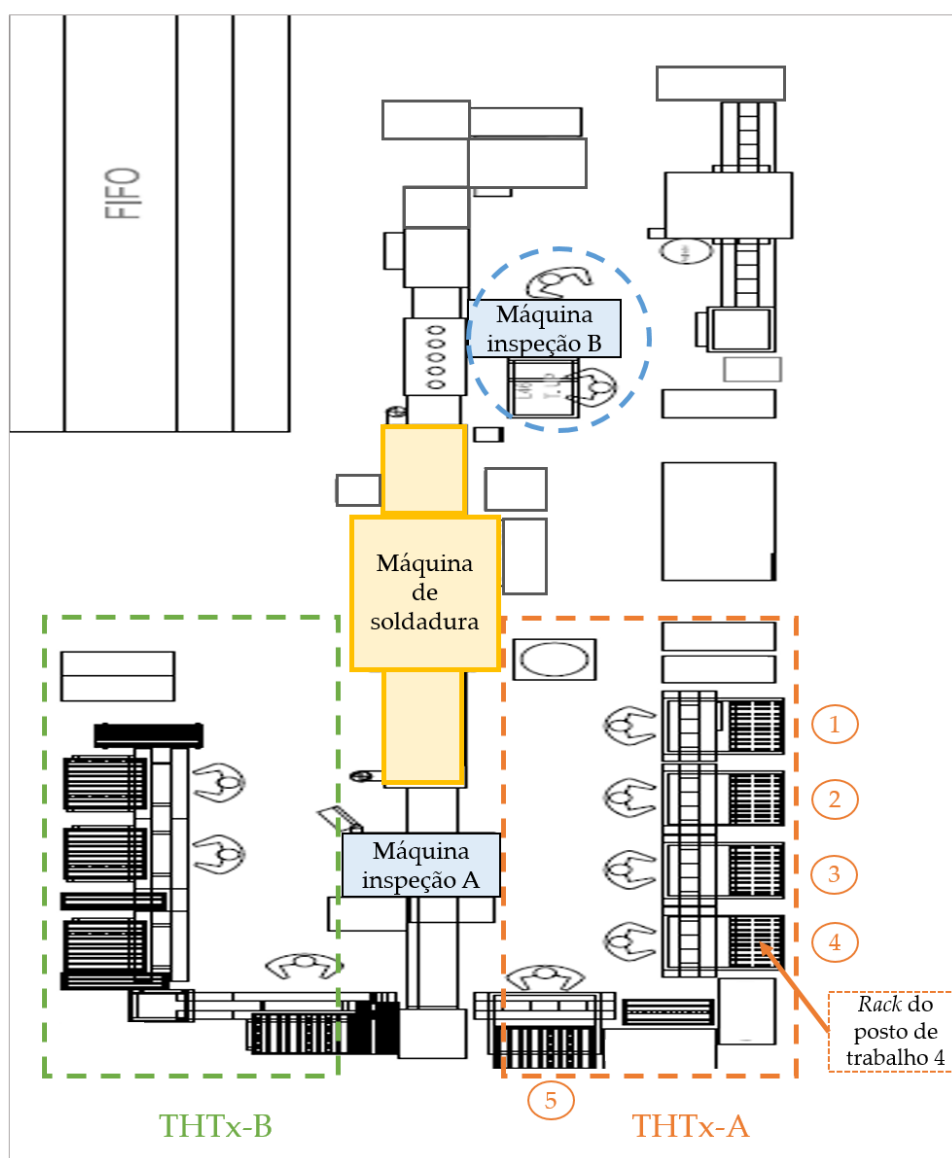


Figura 3-2 - Layout das linhas THTx-A e THTx-B

Na Figura 3-2 são ainda visíveis as *racks* de cada posto de trabalho, onde os componentes são dispostos e abastecidos. O abastecimento das *racks* é realizado por uma pessoa que faz a reposição dos materiais em várias linhas, tendo em conta um sistema de cartões de fluxo de material (*kanbans*). Os componentes são transportados e armazenados em contentores próprios que podem ter diferentes tamanhos. O número de componentes que pode ser atribuído a um posto de trabalho é limitado pelo espaço ocupado pelos contentores de todos os componentes atribuídos a esse posto e pelo espaço de bordo de linha disponível na *rack* do posto.

A linha THTx-A funciona com recurso a três turnos. Em cada turno, os operadores trabalham durante 8 horas com interrupções de 30 minutos para almoço, 15 minutos de intervalo na parte da manhã e 5 minutos dedicados à limpeza dos postos de trabalho, no final de cada turno.

Os produtos da linha THTx-A estão organizados em quatro famílias, existindo muitos componentes comuns. A produção é feita em lotes, tendo em conta ordens de encomenda que são processadas de acordo com o critério FIFO. Entre a produção de dois lotes, existe um tempo *setup*, durante o qual são recolhidos, da rampa *out* de cada posto de trabalho, e adicionados, nas rampas *in*, os contentores dos componentes que não são comuns aos dois lotes em questão.

Na linha THTx-A podem ser distinguidas dois tipos de tarefas, as tarefas de inserção manual e as outras tarefas (como retirar o PCBA da cassette e colar uma etiqueta, colocar o PCBA no caixilho). Os postos de trabalho 1 e 5 têm atribuídas tarefas de inserção e outras tarefas. Os postos de trabalho 2, 3 e 4 são dedicados exclusivamente a tarefas de inserção manual. Como os operadores dos postos de trabalho 1 e 5 têm outras tarefas, para além das tarefas de inserção manual, têm menos componentes para inserir no PCBA, do que nos restantes postos, de forma a uniformizar a carga de trabalho pelos cinco postos.

Relativamente às tarefas do posto de trabalho 1, no início de uma ordem de produção, os PCBA's são transportados em cassetes e colocados na área de

receção do posto de trabalho 1, da linha THTx-A. O operador do posto de trabalho 1 deve retirar, em cada ciclo de trabalho, uma placa da cassette e inserir-lhe uma etiqueta que contém o código do produto que vai ser fabricado. Neste posto de trabalho existe um leitor de código de barras que identifica a etiqueta da placa, contabilizando-a no computador da linha, registando assim o número de placas montadas na linha, em cada momento. Após colocar a etiqueta, o operador do posto de trabalho 1, insere manualmente um conjunto de componentes eletrónicos no PCBA (tarefas de inserção manual) e, após concluir, aciona o *conveyor*, que transporta a placa até ao posto de trabalho 2.

No posto de trabalho 5, para além de tarefas de inserção manual, o operador tem de fazer a sub-montagem de um dos componentes, a chapa dissipadora e, em seguida, após finalizar a montagem, coloca duas placas em simultâneo num caixilho. Este operador é ainda responsável pela verificação das falhas da máquina de inspeção de qualidade A. O ciclo de montagem de um PCBA ao longo dos cinco postos da linha THTx-A encontra-se representado na Figura 3-3.

Podem verificar-se cinco cenários de trabalho diferentes em THTx-A:

- Cenário 1: a linha pode funcionar apenas com um operador a realizar as tarefas de todos os postos de trabalho;
- Cenários 2, 3 e 4: podem estar dois, três ou quatro operadores, que executam as tarefas de um ou mais postos de trabalho, consoante o cenário;
- Cenário 5: podem estar cinco operadores na linha, um em cada posto de trabalho.

A taxa de produção da linha é, por isso, definida em função do número de operadores a trabalhar na linha, visto que o tempo de ciclo da linha é variável: quando apenas está um operador na linha, o tempo de ciclo da linha manual corresponde à soma dos tempos de todos os postos de trabalho; já quando estão os cinco operadores na linha, o tempo de ciclo corresponde ao tempo máximo de trabalho entre os vários postos. O número de operadores a trabalhar na linha, é definido mensalmente, de acordo com as necessidades de produção.

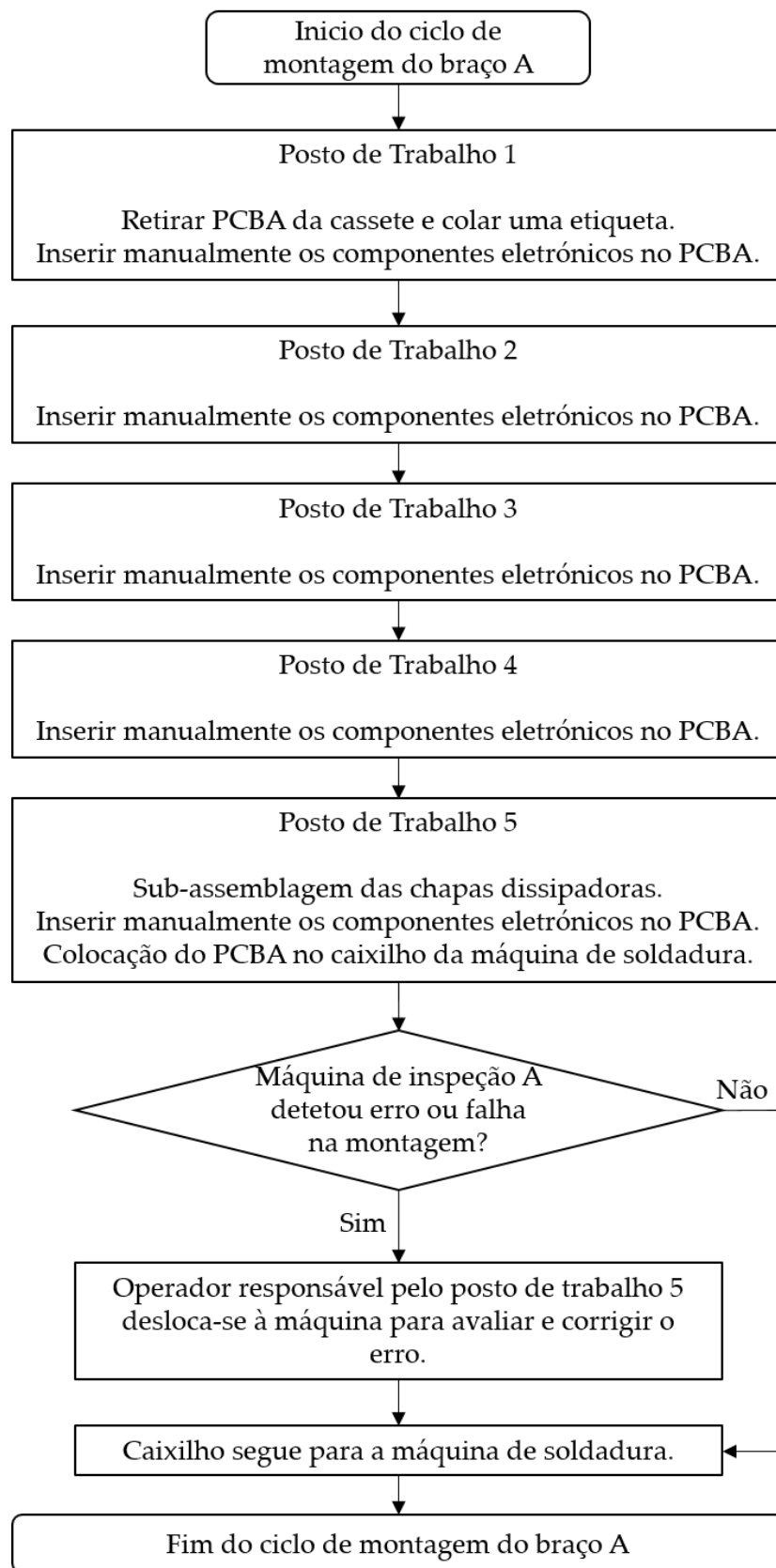



Figura 3-3 - Processo de montagem na linha THTx-A.



3.3.1 Documentos standard das linhas de montagem manual

As linhas de montagem da Bosch Ovar, operam de acordo com os princípios da metodologia Lean. Entre esses princípios, está presente a standardização do trabalho. Em relação a documentos standard presentes nas linhas de montagem manual da Bosch Ovar, distinguem-se três: instruções de trabalho, diagramas de esparguete e diagramas de Yamazumi. A Bosch Ovar possui *templates* standard para estes documentos, que utiliza em todas as suas linhas de montagem.

As instruções de trabalho, designadas por *Production and Quality Instruction* (PQIs) definem quais os componentes, as respetivas quantidades, bem como a ordem de inserção dos mesmos, para cada produto. Na Figura 3-4 apresenta-se um exemplo de um PQI da linha THTx-A.

Production and Quality Instruction 

Sequência de Trabalho
COLOCAÇÃO MANUAL DE ELEMENTOS / HEATRONIC

Ordem	Descrição da Tarefa	Quantidade	Referência	Foto
1	Verificar componente trocados / misturados / danificados			
2	Pegar placa do container colocar na base e colar etiqueta		B1L	
3	Pegar e colocar diodo. Ter em atenção a polaridade (ver foto)		A7L	
4	Pegar e colocar resistência		A6L	
5	Verificar o nº "5274" no componente (ver foto)		A11L	
6	Pegar e colocar varistor		A5L	
7	Pegar e colocar Condensador		A4L	
8	Pegar e colocar filtro			
9	Pegar e colocar 2 condensadores		A5L	
10	Verificar se os componentes não estão defeituosos e se estão corretamente inseridos. Ver tabela dos limites de reação do posto/ área.			

Colocar o material não conforme na caixa de rejeito. Produto não conforme entregar logo à reparação. Manter o Local de trabalho limpo e organizado.

Organizational Data:		Part No. / Name	
Customer Reference	User/Work Cell	Description	
9999-4999-499-000-1/1		Reparação Manual - Rádio	
Operator No.	Operator Name	Date	Page
Supervisor / Line Leader	Supervisor / Quality Engineer	11/01/2021	1 of 1

Figura 3-4 -Exemplo de um PQI da linha THTx-A da Bosch Ovar.

Cada posto de trabalho tem um PQI, por produto. Se dois ou mais produtos possuem, para um dado posto de trabalho, os mesmos componentes, em igual quantidade, podem unir-se as instruções de trabalho desses produtos num único PQI.

Os gráficos de Yamazumi e os diagramas de esparguete, também são definidos de acordo com os diferentes produtos. Caso numa linha se verifiquem diferentes cenários de trabalho (diferente número de operadores a trabalhar na linha), estes documentos são estabelecidos para cada um dos cenários.

Sempre que ocorre um *setup*, os operadores têm a responsabilidade de conferir a informação dos documentos standards, antes de iniciarem a nova produção. Esta verificação é particularmente importante no caso dos PQIs, pois os operadores têm de verificar se todos os componentes dispostos no seu bordo de linha estão de acordo com os componentes mencionados no PQI, para não ocorrerem erros de montagem.

3.3.2 Estudo dos Tempos e Análise do Processo na linha THTx-A

A análise do processo na linha THTx-A contemplou a observação das tarefas desempenhadas pelos vários operadores e das suas movimentações na linha e estudo dos tempos dessas tarefas foi realizado com recurso à técnica de cronometragem. Com a aplicação destas ferramentas Lean, pretendia-se recolher informação para o desenvolvimento dos dois objetivos estabelecidos para o presente estudo:

- (1) Para a melhoria contínua da linha manual THTx-A (objetivo 1), esta análise permite identificar o estado atual da linha e definir as principais ações de melhoria a implementar, incluídas no relatório A3 e que são apresentadas no capítulo 4;
- (2) As informações recolhidas são também utilizadas para o desenvolvimento do modelo de apoio ao balanceamento (objetivo 2) na medida em que permitem identificar os critérios e as restrições relevantes a incluir no mesmo e que são abordados no capítulo 5.

Para ir ao encontro dos princípios da melhoria contínua, antes de se iniciar este procedimento foi necessário envolver todos os colaboradores da linha, para que estes tivessem conhecimento do estudo a ser desenvolvido na linha e pudessem contribuir com o seu *know-how* para a identificação de desperdícios e oportunidades de melhoria.

Em seguida procurou-se recolher informações particulares sobre as tarefas desempenhadas na linha. Como mencionado anteriormente, distinguem-se dois tipos de tarefas: as tarefas de inserção manual e as tarefas que não são de inserção manual (como retirar o PCBA da cassete e colar uma etiqueta). Ao nível da inserção manual, define-se que no processo de montagem uma tarefa corresponde ao *picking* e inserção de um componente eletrónico na placa.

Os componentes eletrónicos são, regra geral, de pequenas dimensões e por vezes, existem componentes muito semelhantes fisicamente, mas com funções eletrónicas diferentes. A montagem deste tipo de produtos exige destreza e especial atenção por parte dos operadores. Por essa razão, é importante definirem-se sequências de montagem que garantam que o operador tem total visibilidade dos locais onde os componentes devem ser inseridos na placa e que facilitem o processo de montagem. Idealmente os componentes são inseridos tendo em conta os seguintes critérios:

- (i) os componentes devem ser inseridos no sentido do bordo de linha para o operador (de cima para baixo ou, de forma equivalente, da zona da placa mais afastada do operador para a zona mais próxima);
- (ii) os componentes mais pequenos devem ser inseridos primeiro.

Outra particularidade deste processo de montagem é que não existem regras de precedência obrigatórias para a inserção dos componentes na placa. Os critérios mencionados anteriormente definem as boas práticas de montagem, mas não geram nenhuma relação de dependência obrigatória na montagem dos componentes.

Relativamente às restrições, com a análise das atividades foram identificados três tipos:

- (i) Restrições de recursos, pois existem tarefas que necessitam da utilização de equipamentos específicos que apenas existem num posto de trabalho (por exemplo, as etiquetas têm de ser lidas por um leitor de código de barras, que apenas existe no posto de trabalho 1; as chapas dissipadoras têm de ser preparadas num *jig* que só existe no posto de trabalho 5);
- (ii) Restrições de incompatibilidade de componentes: existem componentes muito semelhantes fisicamente que têm, no entanto, funções muito distintas, pelo que a montagem incorreta de um componente pode provocar danos irreparáveis em toda a placa. Por essa razão, a empresa define que dois componentes semelhantes fisicamente, mas com funções diferentes não podem ser alocados ao mesmo posto de trabalho, de forma a evitar erros e garantir a qualidade do produto;
- (iii) Restrições de espaço: a *rack* de cada posto pode ter até duas rampas *in* e uma rampa *out* e a largura do bordo de linha de cada rampa *in* é de 85cm. Dado que os componentes são abastecidos na *rack* em contentores com diferentes tamanhos, no balanceamento é necessário ter em conta a restrição de espaço, pois o bordo de linha apenas tem espaço para acomodar um determinado número de contentores.

No caso das tarefas de inserção manual, a empresa define que o tempo de *picking* e inserção de um componente é aproximadamente 4 segundos e, por isso, os tempos das tarefas neste estudo vão ser considerados determinísticos. No entanto, as tarefas manuais estão sempre sujeitas à variabilidade humana e à sequência de montagem definida, que também pode influenciar o processo. Assim, é importante efetuar medições de tempos em cada um dos postos de trabalho, para identificar o tempo de ciclo da linha e o tempo de trabalho standard efetivo em cada posto de trabalho. Desta forma, é também possível verificar se não estão a ocorrer desperdícios ou desvios que tenham de ser eliminados.

A medição dos tempos foi realizada tendo em conta os dois tipos de tarefas definidas (as tarefas de inserção manual e as outras tarefas). Para as tarefas de inserção manual, cronometrou-se o tempo total de inserção de todos os componentes atribuídos a cada um dos postos de trabalho (em oposição a cronometrar o tempo de inserção de cada um dos componentes individualmente). Procedeu-se desta forma visto que o objetivo principal da medição era averiguar o tempo total dedicado às tarefas de inserção manual em cada posto de trabalho. As atividades que não eram de inserção manual foram cronometradas individualmente.

Os tempos foram cronometrados para os vários produtos e registados em separadores standard de registo de tempos da Bosch Ovar. A título de exemplo, apresenta-se a Figura 3-5, onde está representada parte de uma folha standard de registos de tempo da Bosch Ovar.

Security Systems		BOSCH		Industrial Engineering Report									
PRODUCT INFO :													
10NC's		produto x											
Descrição													
Família		Racio											
Work Center													
PROCESS STEPS		operation time											
no	description	seconds											
*	*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
WkS.1	Posto1												
1	Retirar placa da cassate e colocar etiqueta	8,03											
2	Inserção manual	28,27											
WkS.2	Posto 2												
3	Inserção manual	30,81											
WkS.3	Posto 3												
4	Inserção manual	35,53											
WkS.4	Posto 4												
5	Inserção manual	35,84											
WkS.5	Posto 5												
6	JIG + Aparafusar chapa dissipadora	12,65											
7	Inserção manual	5,97											
8	Colocar PCBA no caixilho	15,80											

Figura 3-5 - Folha standard de registos de tempos da Bosch Ovar.

Para definir o tempo standard de um posto de trabalho, com base os tempos obtidos por cronometragem, a Bosch Ovar considera uma percentagem de tempo

adicional ao tempo medido. Esta percentagem que permite incluir pequenos desvios que possam ocorrer durante o processo de montagem (um componente que cai e obriga a que o operador interrompa a montagem para o apanhar ou um componente que não fica bem inserido e o operador tem de o retirar e voltar a inserir).

Na Tabela 3-1, como exemplo, são apresentados os tempos de várias tarefas executadas em cada um dos postos da linha. No entanto, por questões de confidencialidade, os valores dos tempos das tarefas, apresentados na tabela são valores médios, calculados com base nas cronometragens dos tempos de vários produtos montados na linha. Assim os valores utilizados são meramente exemplificativos, não representando a realidade de nenhum produto em específico. Para o exemplo mencionado, pode considerar-se que já foi incluída a percentagem de tempo extra que a Bosch Ovar aplica para colmatar os possíveis desvios dos tempos.

Tabela 3-1 - Tempos standards médios para as tarefas da linha THTx-A

Posto de trabalho	Tarefas	Tempo das tarefas (segundos)	Tempo total no posto (segundos)
Posto 1	Retirar PCBA e colar etiqueta	8	41
	Inserção manual de componentes	33	
Posto 2	Inserção manual de componentes	35	35
Posto 3	Inserção manual de componentes	37	37
Posto 4	Inserção manual de componentes	37	37
Posto 5	Sub-montagem de chapa dissipadora	15	37
	Inserção manual de componentes	7	
	Colocação do PCBA no caixilho	15	

Na Tabela 3-2 encontram-se resumidas as principais características da linha em estudo. Apesar da linha THTx-A ser multimodelo, o balanceamento atual é realizado como se a linha fosse singular, pois é feito de forma individual para cada produto. Tendo em conta as características da linha e, de acordo com as

definições dos tipos de linhas, mencionados no capítulo 2, a linha THTx-A é uma linha de montagem geral.

Após a recolha destes dados, procedeu-se então ao estudo e desenvolvimento de cada um dos objetivos propostos para esta dissertação.

Tabela 3-2- Características da linha THTx-A

Critério	Classificação
Diversidade de produtos	Multimodelo
Fluxo de materiais	Assíncrona
Nível de automação	Manual
Layout da linha	Sequencial
Tempos das tarefas	Determinísticos

4

Capítulo 4 - Melhoria contínua da linha

Com o propósito de aumentar a eficiência da linha em estudo, recorreu-se à aplicação de um relatório A3. No presente capítulo são descritas as várias etapas do relatório A3 desenvolvidas. É ainda apresentada uma análise dos resultados obtidos com a implementação das medidas de melhoria definidas.

4.1 Descrição do Problema

Por uma decisão estratégica, por parte da Bosch Ovar, no início de 2020 foram adicionados novos componentes aos produtos montados na linha THTx-A, que eram inseridos previamente noutra linha. A inclusão de novos componentes numa linha de montagem manual provoca alterações ao nível da sequência de montagem e pode gerar modificações nos tempos de trabalho de cada posto e no tempo de ciclo, afetando, respetivamente, o balanceamento e a taxa de produção da linha.

No momento da transferência dos novos componentes para a linha THTx-A, estimaram-se valores para o tempo de ciclo (de acordo com o número de com-

ponentes e inserções) e para as taxas de produção, sem que tenham sido efetuadas medições de tempos. O balanceamento da linha foi definido com base nessas estimativas.

O conhecimento sobre o estado real do sistema contribui para o aumento da sua eficiência. Por essa razão, a empresa propôs o estudo dos tempos e a análise do processo nesta linha, de forma a rever o balanceamento da linha e atualizar as taxas de produção com base nos tempos de trabalho e de ciclo efetivos.

Também os PQI's não foram atualizados, tendo sido apenas acrescentadas novas instruções de trabalho para os novos componentes e mantidas as instruções de trabalho já existentes, para os restantes componentes. A falta de documentos standard atualizados pode, por um lado, gerar erros na montagem e falhas na qualidade e, por outro, gerar desperdícios, pois as melhores práticas de trabalho podem não estar a ser cumpridas.

A empresa identificou ainda a necessidade de standardizar o processo de montagem, garantindo que os componentes comuns aos vários produtos são sempre atribuídos aos mesmos postos de trabalho. Desta forma, é possível standardizar a sequência de montagem ao longo da linha.

4.2 Relatório A3

Para o estudo e implementação de melhorias na linha THTx-A utilizou-se o relatório A3, uma vez que esta é uma ferramenta simples que permite documentar, de forma sucinta, comunicar visualmente e acompanhar um problema e as soluções implementadas para o combater. Na Figura 4-1 apresenta-se um exemplo de um *template* de um relatório A3, da Bosch Ovar.

No seguimento deste capítulo são descritas as várias secções do relatório A3 desenvolvido no presente estudo. Primeiramente é feita uma breve descrição do problema, que gerou este estudo, seguida de uma caracterização do estado atual da linha de montagem manual THTx-A. São definidas as condições futuras

Figura 4-1 - *Template* do relatório A3 utilizado na Bosch Ovar.

a) Background

Os novos componentes adicionados à linha eram anteriormente inseridos por máquinas, numa outra linha de montagem. A empresa considerou vantajoso incluir esses componentes no processo de inserção manual, já existente na linha THTx-A e, assim, eliminar a outra linha de montagem.

Esta situação gerou a necessidade de rever o balanceamento e atualizar as taxas de produção e os documentos standard da linha, como os PQIs, os diagramas de esparguete e os gráficos de Yamazumi. Considerou-se também relevante atuar sobre o tempo de *setup*, no sentido de diminuir o número de trocas de componentes comuns, entre *setups*, visto que esta é uma fonte de desperdício.

b) Situação Inicial

Como não existem medições dos tempos atualizadas das tarefas, é possível que a inclusão dos novos componentes na linha THTx-A tenha gerado alterações ao

balanceamento anteriormente definido. Pela mesma razão, as taxas de produção atualmente estipuladas podem não refletir a capacidade efetiva da linha, o que gera desperdícios para a empresa.

Atualmente, na linha, cada posto de trabalho possui, para a montagem de um produto, dois PQIs diferentes: um que diz respeito às instruções de trabalho para a montagem dos componentes adicionados recentemente à linha THTx-A e outro com as instruções de trabalho para os restantes componentes, que já eram inseridos na linha THTx-A. A existência de dois PQI's por posto de trabalho não está de acordo com o standard da empresa e torna o processo de consulta mais demorado.

A linha THTx-A é multiproduto, sendo necessário efetuar um *setup* entre a produção de dois lotes. O *setup* implica retirar das rampas *out* de cada posto de trabalho, os componentes que não são comuns aos dois produtos e adicionar novos componentes que possam ser necessários nas rampas *in*. No entanto, identificou-se que existiam componentes que, apesar de serem comuns ao produto que estava a ser montado e ao novo produto, eram alocados a postos de trabalho diferentes.

c) Situação futura

Pretende-se efetuar medições dos tempos das tarefas, de forma a rever o balanceamento da linha e atualizar as taxas de produção para os vários produtos, com base nos tempos reais.

De forma a melhorar os procedimentos de trabalho standard, a empresa definiu que os componentes que são comuns a mais do que um produto, devem ser inseridos sempre no mesmo posto de trabalho, independentemente do produto a ser montado, para diminuir os tempos de *setup* e reduzir erros. Para tal, é necessário definir postos de trabalho standard para cada componente comum.

No sentido de melhorar a standardização do trabalho, pretende-se também atualizar os documentos da linha (gráficos de Yamazumi, diagramas de esparguete e PQIs). No caso dos PQIs, estes serão reformulados, de forma a incluir

todas as instruções de trabalho num só documento, por posto de trabalho (deixando de existir dois PQIs por posto de trabalho).

d) Plano de Ações

Tendo em conta os objetivos propostos, definiu-se o seguinte plano de ações: (i) revisão do balanceamento; (ii) redução do número de mudanças de componentes comuns entre postos de trabalho, entre *setups*; (iii) atualização das taxas de produção da linha; (iv) atualização dos documentos standard.

Para cada ação, foi definido um período de tempo e um conjunto de procedimentos para a executar. Na secção 4.3 do presente capítulo são detalhadas as ações de melhoria implementadas.

e) Indicadores de Desempenho

Para avaliar se as ações propostas obtiveram resultados positivos, foram utilizados diferentes KPI's, apresentados na Tabela 4-1.

Em relação ao balanceamento, a empresa utiliza o indicador eficiência da linha, mencionado na Tabela 2-5. Assim, esse foi o KPI utilizado para avaliar o estado atual do balanceamento da linha (Tabela 4-1).

Tabela 4-1 – KPI's utilizados no Relatório A3

Ação de melhoria	KPI
Rever o balanceamento	Eficiência da linha (média)
Reduzir o número de <i>setups</i> para os componentes comuns a vários produtos	Nº médio de mudanças de componentes comuns entre postos de trabalho, por <i>setup</i>
Atualizar as taxas de produção da linha, com base na medição dos tempos das tarefas	Nº médio de unidades montados/hora
Implementar apenas um PQI por posto	Nº de PQIs/posto

Para a redução do número de mudanças de componentes comuns entre postos de trabalho durante o *setup*, analisou-se o número total de vezes que um componente era alocado a um posto de trabalho diferente do posto de trabalho definido como standard. Optou-se por utilizar esta métrica, em oposição ao tempo de *setup* pois existem muitos fatores variáveis na linha que podem afetar esse tempo (por exemplo o número de componentes não comuns a alterar durante o *setup* ou o número de operadores a efetuar o *setup* nos cinco postos de trabalho).

De acordo com a diversidade dos produtos procedeu-se à atualização das taxas de produção de todos os produtos montados na linha. No entanto, por razões de confidencialidade dos dados reais da empresa, para a avaliação do KPI é considerado um cálculo baseado em valores médios das taxas de produção.

A métrica usada para avaliar a atualização dos documentos standard contemplou apenas a diminuição do número de PQIs por posto de trabalho.

4.3 Ações de melhoria definidas

De acordo com o plano de ações definido, foram implementadas as medidas de melhoria contínua descritas abaixo.

4.3.1 Revisão do balanceamento

A primeira ação definida foi a revisão do balanceamento atualmente em vigor na linha. Com esta análise pretendia-se avaliar se a carga de trabalho estava uniformemente distribuída pelos vários postos de trabalho, não violando nenhuma das restrições impostas na linha.

Com base nos tempos recolhidos através do estudo dos tempos, calculou-se a percentagem de balanceamento da linha, de acordo com o indicador eficiência da linha. Dado que as tarefas são distribuídas de acordo com o número de postos de trabalho e que atualmente a linha está definida para cinco postos de

trabalho, a percentagem de balanceamento foi calculada para o cenário em que estão cinco operadores a trabalhar na linha.

De acordo com os tempos registados na Tabela 3-1, obteve-se a Tabela 4-2, como exemplo para o cálculo do balanceamento da linha THTx-A, através do indicador eficiência da linha.

A empresa considera aceitável um balanceamento superior a 90%, por isso, conclui-se que o balanceamento atualmente em vigor garante uma distribuição eficiente da carga de trabalho pelos vários postos de trabalho. Assim, as restantes medidas de melhoria foram desenvolvidas, de acordo com a premissa de que a distribuição atual das tarefas pelos postos de trabalho é adequada.

Manter o balanceamento atual e, conseqüentemente, a distribuição dos componentes pelos postos de trabalho e a sequência de montagem, é vantajoso para a empresa, uma vez que alterações significativas nos procedimentos de trabalho implicam um período de adaptação e aprendizagem, por parte dos operadores, o que se pode refletir numa diminuição da cadência da linha e na ocorrência de erros de montagem, considerados desperdícios para a empresa.

Tabela 4-2 - Cálculo do indicador eficiência da linha

Parâmetros	Situação atual
Somatório dos tempos de trabalho em cada estação ($\sum_{i=1}^K t(Sk)$) (segundos)	187
Número de estações de trabalho (k)	5
Tempo de ciclo na linha (c) (segundos)	41
Balanceamento (percentagem)	91

4.3.2 Redução do número de mudanças de componentes comuns por *setup*

Uma vez que se considerou o balanceamento atualmente em vigor satisfatório, a segunda ação conduzida foi a análise dos componentes comuns e das alterações existentes entre *setups* de produtos da mesma família e entre famílias

diferentes. O objetivo era definir postos de trabalho standards para os componentes comuns, alterando o mínimo possível a distribuição atual dos componentes, de forma a não afetar o balanceamento.

Identificou-se que existiam vários componentes que eram alocados a diferentes postos de trabalho, dependendo do produto, o que aumentava o tempo de *setup*. Para exemplificar esta situação apresenta-se o esquema na Figura 4-1. Sejam A e B dois produtos montados na mesma linha, nos postos de trabalho 1 e 2. Quando a montagem do lote do produto A é finalizada, efetua-se um *setup* para iniciar a montagem do lote do produto B. Repare-se que os produtos A e B têm ambos quatro componentes, sendo os componentes C1, C2 e C4 comuns aos dois produtos.

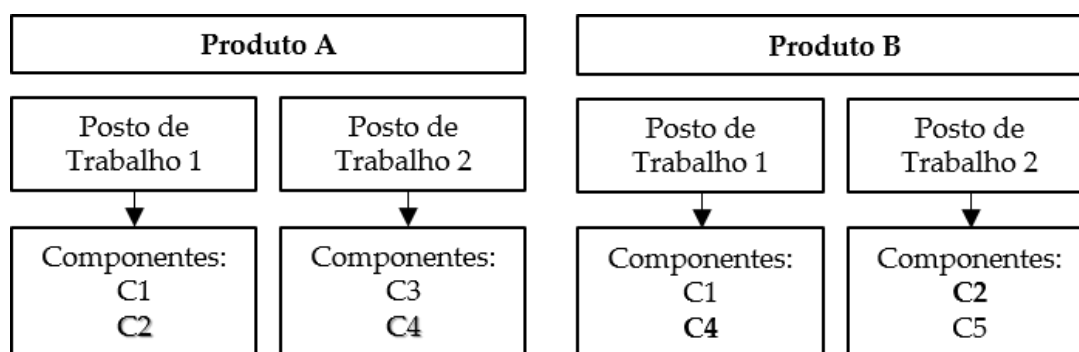


Figura 4-2 - Componentes comuns atribuídos a postos de trabalho diferentes.

Apesar dos componentes C2 e C4 serem comuns, são alocados a postos de trabalho diferentes, dependendo do produto (Figura 4-1). Isto implica que durante o *setup*, se recolham os contentores destes dois componentes dos respetivos postos de trabalho e que se coloquem os contentores noutros postos de trabalho.

Pretende-se corrigir essa situação, atribuindo um componente a um posto de trabalho específico, independentemente do produto, como é exemplificado na Figura 4-3. Neste exemplo, o componente C2 está sempre atribuído ao posto de trabalho 1 e o componente C4 é sempre atribuído ao posto de trabalho 2.

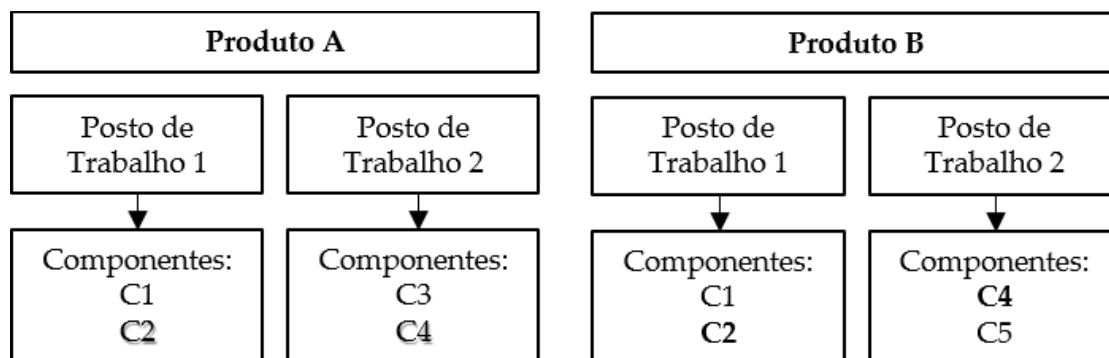


Figura 4-3 - Exemplo de uma distribuição ideal dos componentes comuns.

Ao estabelecer um posto de trabalho standard, para cada componente, tendo em conta o balanceamento atualmente em vigor, procura-se minimizar o número de alterações a efetuar nos procedimentos de trabalho utilizados atualmente na linha. Para tal, definiu-se que, para componentes comuns a vários produtos, que são alocados a postos de trabalho diferentes, o posto standard deve corresponder ao posto de trabalho a que o componente é alocado em mais produtos. Para exemplificar esta situação apresenta-se o exemplo da Tabela 4-3.

Tabela 4-3 - Exemplo de uma análise dos componentes comuns.

Componentes	Produtos		
	A	B	C
C1	PT 1	PT 1	PT 1
C2	PT 1	PT 1	PT 1
C3	PT 2	PT 1	PT 2
C4	PT 2	PT 2	PT 2

Na Tabela 4-3, considerem-se os produtos A,B e C que têm em comum os componentes C1, C2, C3 e C4 e seja PT1 a designação para posto de trabalho 1 e PT2 a designação para posto de trabalho 2. Apesar do componente C3 ser comum aos três produtos, é alocado ao posto de trabalho 2, na montagem dos produtos A e C e alocado ao posto de trabalho 1, na montagem do produto B. Como o

componente é mais vezes alocado ao posto de trabalho 2, então define-se que esse é o posto de trabalho standard, para este componente e, como tal, o componente C3 passa a ser sempre alocado no posto de trabalho 2, nos três produtos.

Assim, identificou-se, para cada componente o posto de trabalho onde eram inseridos, em cada produto. A análise efetuada para verificar o número de componentes comuns que estavam atribuídos a postos de trabalho diferentes está ilustrada na Figura 4-4.

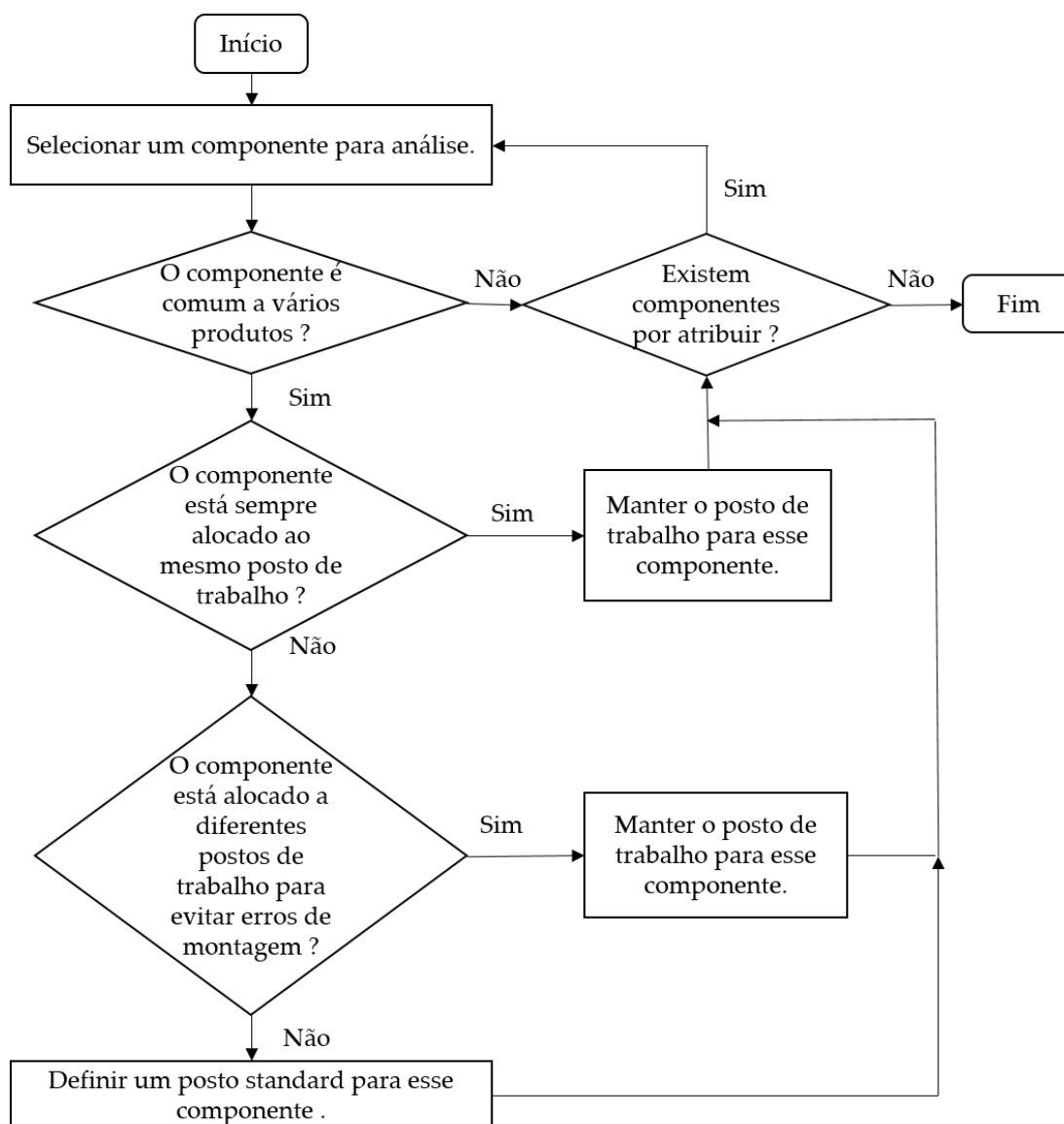


Figura 4-4 - Esquema para análise dos componentes comuns.

Teve-se em conta que existem componentes comuns que são alocados a postos de trabalho diferentes, por questões de qualidade (para evitar erros de montagem) e, por isso, para esses casos, mantiveram-se os postos de trabalho aos quais os componentes estavam atribuídos.

As alterações propostas tiveram em conta as restrições de espaço do bordo de linha, associadas a cada posto de trabalho e procurou-se manter aproximadamente o mesmo tempo de ciclo da linha, conforme o balanceamento atual. As alterações foram efetuadas garantindo que os standards eram válidos para as quatro famílias.

4.3.3 Atualização das taxas de produção

A taxa de produção de uma linha é dada em função do tempo de ciclo. No caso da linha THTx-A é necessário calcular as taxas de produção para cada um dos cenários: um, dois, três, quatro ou cinco operadores a trabalhar na linha.

Para os cenários em que estão dois, três ou quatro operadores a trabalhar na linha de montagem, definem-se as movimentações de cada operador, de tal forma que se minimize o tempo de ciclo por operador e que se consiga obter um balanceamento aceitável. Para diminuir o tempo de movimentações, por norma, um operador é responsável pelas tarefas de postos de trabalho que sejam consecutivos.

Ao distribuir o trabalho pelos operadores, é necessário ter também em conta que o operador que fica responsável pelo posto de trabalho 5 não deve ser o operador com o maior tempo de trabalho. Este operador é responsável por analisar as falhas de qualidade que a máquina de inspeção possa assinalar, que é uma atividade acíclica, não sendo possível prever a sua ocorrência ou a sua duração (pode demorar cerca de 10 segundos ou até ultrapassar os 60 segundos). Como a duração dessa tarefa é variável, poderia influenciar o tempo de ciclo da linha, caso este fosse o operador com maior tempo de trabalho, pelo que se opta por não ter este operador como gargalo.

Assim, observe-se, por exemplo, a situação em que estão dois operadores a trabalhar na linha de montagem. Como existem cinco postos de trabalho, um dos operadores faz as tarefas de dois dos postos de trabalho e o outro operador faz as tarefas de três postos. Para estabelecer quais dos postos ficam atribuídos a cada operador, apresenta-se a Tabela 4-4, onde foram calculados dois exemplos de cenários possíveis, com base nos tempos da Tabela 3-1.

Tabela 4-4 - Cenários para o balanceamento da linha com dois operadores

Parâmetros	Cenário 1		Cenário 2	
	1	2	1	2
Postos de trabalho atribuídos ao operador	1 + 2 + 3	4 + 5	1 + 2	3 + 4 + 5
Tempo total de trabalho do operador (segundos)	113	74	76	111
Tempo de ciclo (segundos)	113		111	
Taxa produção (unidades/hora)	31		32	
Balanceamento (percentagem)	83		84	

Apesar de o cenário 2 possibilitar uma taxa de produção e um balanceamento ligeiramente melhores que o cenário 1, o operador responsável pelo posto de trabalho 5 é o que define o tempo de ciclo. Por essa razão opta-se pelo cenário 1, pois este garante maior estabilidade à linha de montagem, visto que o tempo de ciclo não é influenciado por atividades acíclicas. O cenário escolhido é depois documentado através do diagrama de esparguete e do gráfico de Yamazumi.

Assim, com base nos tempos de ciclo obtidos através da medição de tempos, calculou-se, para cada produto, as taxas de produção, para cada um dos cenários. Verificou-se que as taxas de produção de alguns produtos estavam abaixo do que é possível atingir (no cenário mais crítico cerca de 10% abaixo), gerando desperdícios para a empresa.

4.3.4 Atualização dos documentos standard

Para a atualização dos PQIs procurou-se definir a melhor sequência das tarefas de montagem. Tendo em conta o balanceamento atual e as alterações dos componentes comuns, procurou-se estabelecer, de acordo com os componentes atribuídos a cada posto, uma sequência que respeitasse os critérios de montagem mencionados anteriormente: (i) os componentes devem ser inseridos no sentido do bordo de linha para o operador (de cima para baixo), (ii) os componentes mais pequenos devem ser inseridos em primeiro lugar. Para além disso, questionaram-se os operadores sobre quais as melhores sequências de montagem para cada posto de trabalho e quais as principais dificuldades que estes encontravam no processo.

A atualização dos PQIs contemplou ainda a inclusão da informação relativa à montagem dos componentes adicionados recentemente à linha THTx-A, para além dos componentes já anteriormente atribuídos à linha, de forma a diminuir o número de PQI's por posto de trabalho.

Após a elaboração dos novos PQIs, estes foram dispostos nos postos de trabalho e foram efetuadas novas medições de tempos para garantir que as alterações dos componentes comuns não afetaram o balanceamento.

Em seguida, com base nos dados recolhidos relativos ao tempo de trabalho em cada posto, ao tempo de ciclo da linha e ao takt time construíram-se os diagramas de Yamazumi para cada produto e para os diferentes cenários de trabalho na linha de montagem. Como exemplo, apresentam-se dois gráficos de Yamazumi (Figuras 4-5 e 4-6), elaborados de acordo com o standard da Bosch Ovar, utilizando os tempos registados na Tabela 3-1.

No gráfico da Figura 4-5 é visível que, para a situação em que estão cinco operadores a trabalhar na linha, o posto gargalo é o posto de trabalho 1, que define o tempo de ciclo da linha.

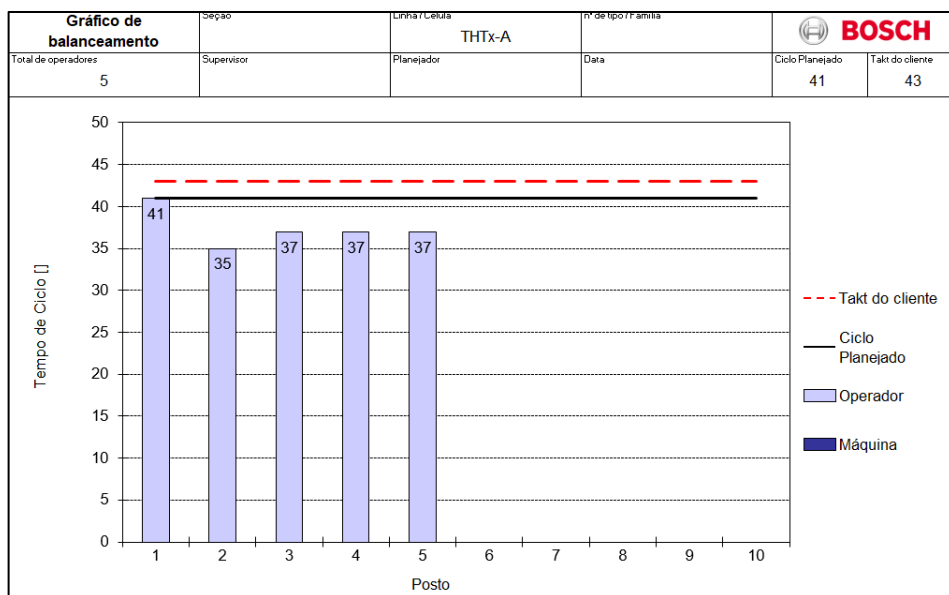


Figura 4-5 - Gráfico de Yamazumi da linha THTx-A, para 5 operadores.

Na Figura 4-6 está representado o gráfico de Yamazumi relativo ao exemplo em que estão dois operadores a trabalhar na linha. O primeiro operador (no gráfico representado pelo posto 1) está responsável pelas tarefas dos postos de trabalho 1, 2 e 3 e o segundo operador (no gráfico representado pelo posto 2) é responsável pelas tarefas dos postos de trabalho 4 e 5.

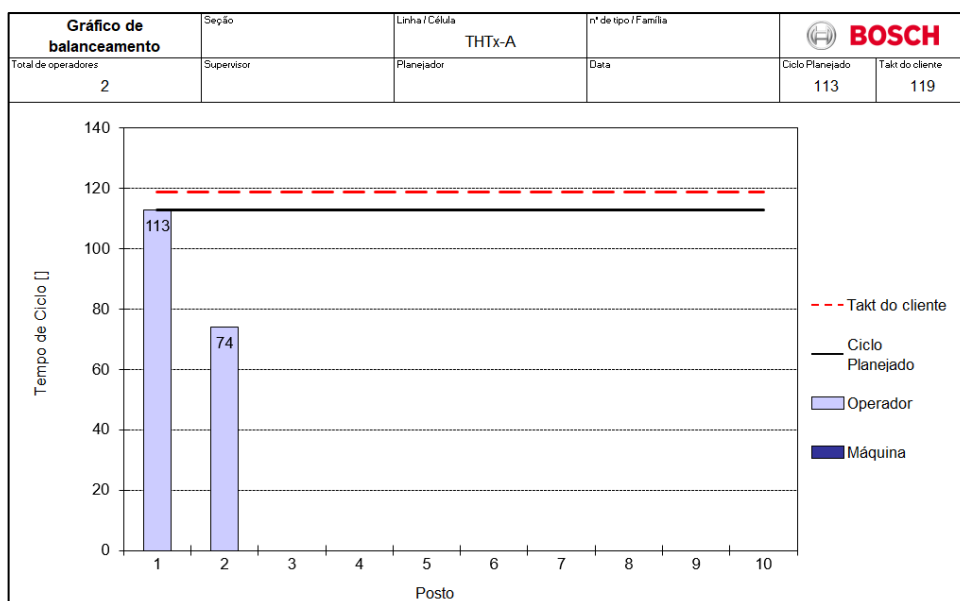


Figura 4-6 - Gráfico de Yamazumi da linha THTx-A, para 2 operadores

Com base nas distribuições das cargas de trabalho definidas durante a atualização das taxas de produção, foram elaborados os diagramas de esparguete, com base no standard da Bosch Ovar, que definem as movimentações de cada operador para os diferentes cenários possíveis de ocorrer na linha de montagem. Para exemplificar os diagramas elaborados, recorreu-se novamente aos cenários de cinco e dois operadores a trabalhar na linha de montagem (Figuras 4-7 e 4-8).

Na Figura 4-7 está representado um diagrama de esparguete para o cenário em que estão cinco operadores na linha. Os números a verde representam o operador a trabalhar em cada um dos postos, sendo que o quinto operador, trabalha no posto de trabalho 5 e coloca os PCBAs no caixilho (representado pelo desenho do operador junto à máquina de soldadura).

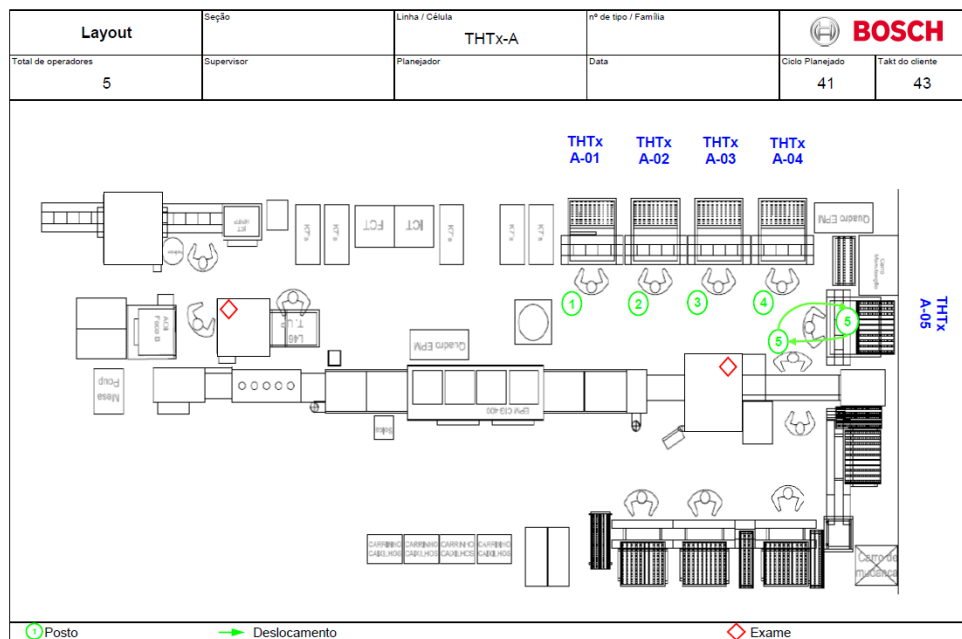


Figura 4-7- Exemplo de um diagrama de esparguete para 5 operadores.

Para o cenário em que estão dois operadores na linha verifica-se, no diagrama da Figura 4-8, que o operador 1 (representado pelo número 1 a verde) se desloca entre os postos de trabalho 1, 2 e 3, de forma sequencial e que o operador 2 (representado pelo número 2 a verde) se movimenta entre os postos 4 e 5.

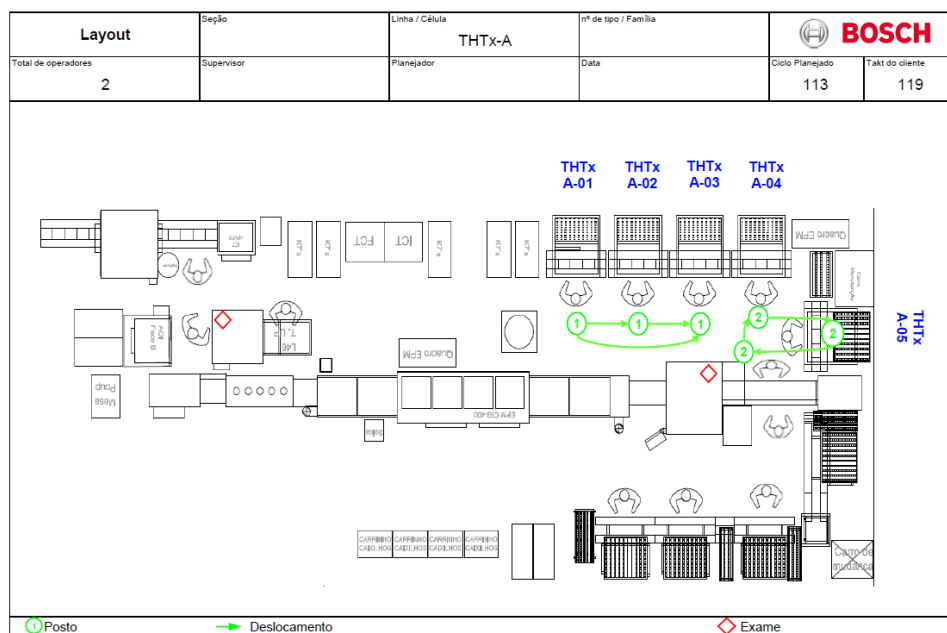


Figura 4-8 - Exemplo de um diagrama de esparguete para 2 operadores.

4.4 Análise de Resultados

Com o plano de ações definido no relatório A3, pretendia-se aumentar a eficiência global da linha e estudar os benefícios da implementação de ferramentas de melhoria contínua numa linha de montagem manual.

Para cada medida de melhoria definida, foi estabelecido um KPI, para avaliar a eficácia da mesma. Na Tabela 4-5 estão apresentados os valores antes e após a implementação das ações de melhoria definidas, dos KPI's definidos na Tabela 4-1

Após a implementação das ações de melhoria da linha deu-se início à fase plano de acompanhamento do relatório A3. Nesta fase pretende-se confirmar se os procedimentos implementados, no processo, estão a ser respeitados. Para tal, realizaram-se reuniões diárias, durante uma semana, com os operadores e com os chefes de linha dos diferentes turnos. Estas reuniões tinham como principal objetivo verificar se as novas taxas de produção definidas estavam a ser atingidas e se os documentos standard estavam a ser cumpridos.

Tabela 4-5 - Avaliação das ações de melhoria implementadas

Ação implementada	KPI	Valor inicial	Valor obtido
Revisão do balanceamento	Eficiência da linha (média)	91	
Reduzir o número de <i>setups</i> para os componentes comuns a vários produtos	Nº médio de mudanças de componentes comuns entre postos de trabalho, por <i>setup</i>	6	2
Atualizar as taxas de produção da linha, com base na medição dos tempos	Nº médio de unidades montadas/hora	46	52
Implementar apenas um PQI por posto	Nº de PQI's/posto	2	1

a) Revisão do Balanceamento

A revisão do balanceamento revelou que o balanceamento dos cinco postos de trabalho da linha THTx-A, atualmente em vigor, é suficientemente satisfatório, visto ser, em média, superior a 90%, para o cenário em que estão cinco operadores na linha.

É necessário ter em conta que o balanceamento da linha é definido para cada um dos cenários de trabalho na linha, pois as tarefas atribuídas a cada um dos postos de trabalho mantêm-se, independentemente do número de operadores. Como os operadores têm de se deslocar entre os postos para executar as tarefas de cada um deles, o balanceamento é definido em função do cenário ideal, de acordo com o takt time, que atualmente corresponde ao cenário de ter cinco operadores na linha de montagem.

Outro fator que deve ser tido em conta durante o balanceamento, é a formação e experiência dos operadores: para garantir os tempos de trabalho standard e o tempo de ciclo definidos no balanceamento, é necessário assegurar que todos os colaboradores que operam na linha têm a mesma formação e que são capazes de cumprir os standards estabelecidos para a linha.

Os resultados obtidos com a revisão do balanceamento da linha THTx-A comprovam que, para o mesmo número de operadores na linha, quanto maior

for a eficiência da linha maior é taxa de produção que pode ser atingida (como é visível na Tabela 4-4).

b) Redução do número de mudanças de componentes comuns por *setup*

As mudanças de componentes comuns entre postos de trabalho, entre *setups*, do ponto de vista da metodologia Lean podem ser consideradas como dois tipos de desperdício: (i) um maior número de mudanças de componentes comuns representa maior tempo de *setup* que, segundo esta metodologia é uma atividade sem valor acrescentado; (ii) a alteração frequente do posto de trabalho ao qual um determinado componente comum é atribuído gera variabilidade no processo e potencia a ocorrência de erros e trocas durante o processo de montagem manual, sendo que produtos com defeito também são considerados um desperdício.

A análise dos componentes comuns permitiu identificar que, ao efetuar a mudança de um lote de um determinado produto para outro, era necessário modificar, em média, 6 componentes comuns de posto de trabalho. Isto significa que, os operadores, durante o *setup*, retiravam, em média, os contentores de 6 tipos de componentes e colocavam-nos nas rampas *out* dos postos de trabalho onde estavam atribuídos para, em seguida, estes serem novamente abastecidos, mas nas rampas *in* de outros postos de trabalho da linha.

Através da definição dos postos de trabalho standard para cada componente comum, descrita na secção 4.3.2, foi possível diminuir a troca de componentes para uma média de 2 componentes por *setup*, o que representa uma diminuição de 66% do número médio de mudanças de componentes comuns por posto de trabalho, entre *setups*.

Os *setups* apesar de necessários, numa linha multimodelo, não acrescentam valor ao produto. Desta forma, a diminuição do processo de *setup* corresponde a uma eliminação de um desperdício do ponto de vista das atividades de valor acrescentado e, conseqüentemente, uma melhoria da eficiência da linha.

Por outro lado, a criação de postos de trabalho standards para os componentes comuns facilita o processo de montagem e potencia o aumento da qualidade do produto, pois evita erros de montagem. Para além disso esta medida permite a uniformização do processo de montagem em cada posto de trabalho, para todos os produtos montados na linha, o que, de acordo com a filosofia da melhoria contínua, permite também aumentar a eficiência do processo.

c) Atualização das taxas de produção da linha

Taxas de produção inferiores à capacidade da linha (tendo em conta o tempo de ciclo efetivo) são outra fonte de desperdício para a empresa. A taxa de produção de uma linha de montagem é inferior à capacidade da linha quando o tempo de ciclo real da linha de montagem é inferior ao tempo de ciclo estipulado para a mesma. Esta situação pode gerar tempo de inatividade na linha de montagem e uma gestão ineficiente dos recursos humanos.

As taxas de produção influenciam o planeamento das produções e o tempo de mão de obra necessário para dedicar às mesmas. Nas linhas de montagem manual, os recursos humanos são um fator essencial e por isso afetam significativamente o custo de um produto.

O estudo dos tempos na linha manual THTx-A conduziu à atualização das taxas de produção, permitindo um aumento de cerca de 13% na cadência da linha, o que também contribui de forma positiva para o aumento da eficiência da linha.

d) Atualização documentos standard

O excesso de PQIs por posto e a falta de standardização do trabalho, por não haver uma sequência de montagem que contemplasse a inserção manual de todos os componentes, nem documentos standards atualizados também pode ser considerado um desperdício.

A atualização dos PQIs e dos documentos standard contribui para a uniformização do trabalho e conduz a todos os benefícios descritos pela metodologia

Lean. Dada a grande diversidade de produtos e a rotatividade de operadores na linha THTx-A, a implementação de standards é particularmente importante para garantir a correta execução do trabalho, mas também para garantir a transmissão do conhecimento entre os vários colaboradores.

Estes documentos standard refletem as restantes medidas implementadas, na medida em que os novos PQIs definem os postos de trabalho standard para os componentes comuns, os diagramas de Yamazumi representam os balanceamentos em vigor para os vários cenários na linha e os diagramas de esparguete representam as movimentações que cada operador deve efetuar, por forma a tingirem as taxas de produção definidas para os vários produtos. Assim, estes documentos podem ser utilizados para confirmações do processo e, de acordo com a melhoria contínua, para servirem como referência para estudos e análises futuras.

e) Aumento da eficiência da linha

Para avaliar o aumento da eficiência da linha de montagem em estudo, analisou-se ainda o custo médio dos produtos montados na mesma. De uma forma simplificada, o custo de um produto, associado a uma determinada linha de montagem, corresponde ao produto do tempo que o mesmo demora a ser montado nessa linha (minutos/peça) pelo custo da mão de obra da linha (€/minuto).

Para as linhas de montagem manual da Bosch Ovar define-se que o tempo que uma peça demora a ser produzida corresponde ao produto do tempo de ciclo, em minutos, da linha, pelo número médio de operadores a trabalhar na linha. O número médio de operadores que trabalha numa determinada linha é definido tendo em conta as taxas de produção e o planeamento das necessidades de produção anuais.

No caso da linha THTx-A calculou-se, para cada produto, o tempo de montagem de uma peça, com base no estudo dos tempos e no balanceamento. Verificou-se que através das medidas de melhoria contínua, foi possível diminuir o tempo médio despendido na montagem de cada produto na linha de montagem

manual. Por razões de confidencialidade o valor da redução do tempo não é mencionado.

Em seguida foram calculadas as quantidades médias mensais a serem produzidas, de cada produto. O produto desses valores pelo custo da mão de obra utilizada pela Bosch Ovar, foram utilizados para obter os custos mensais de produção na linha THTx-A. Mais uma vez, o valor do custo da mão de obra é omitido por questões de confidencialidade.

A diminuição média do tempo de montagem por peça, permitiu à empresa uma redução de cerca de 8% dos custos médios mensais de produção na linha THTx-A.

De acordo com os princípios da melhoria contínua, a implementação de ações de melhoria simples, permite aumentar a eficiência do trabalho. Os resultados obtidos com o estudo de caso apresentado na presente dissertação corroboram esses princípios pois, sem necessidade de investimento, apenas com a aplicação de ferramentas de melhoria contínua, foi possível aumentar a eficiência da linha e, conseqüentemente diminuir, os custos de produção para a empresa.

Esta página foi propositadamente deixada em branco

5

Capítulo 5 - Modelo de apoio ao balanceamento

Para o desenvolvimento do modelo de apoio ao balanceamento de linhas de montagem manual, definiram-se duas etapas: a definição da heurística e a construção do modelo num ficheiro Excel. No presente capítulo é elaborada uma descrição detalhada de cada uma dessas etapas. No final do capítulo é apresentada a análise de resultados relativos ao modelo proposto.

5.1 Descrição do Problema

A Bosch Ovar é uma empresa em crescimento e, por isso, é frequente surgirem novos produtos a serem montados nas suas linhas de montagem manual, o que requer o balanceamento das mesmas. Por outro lado, podem também ocorrer modificações de layouts para obtenção de mais espaço de chão de fábrica para incluir novas linhas, o que obriga a uma reformulação dos postos de trabalho das linhas manuais existentes e consequente rebalanceamento da linha. Nesse sentido, e tendo em conta a importância do balanceamento nas linhas de montagem manual, a empresa considera vantajoso ter uma ferramenta que auxilie os engenheiros industriais no processo de balanceamento deste tipo de linhas.

Apesar de na literatura existir uma vasta gama de métodos de balanceamento de linhas, vários autores como Cannas et al. (2018) referem que muitos destes métodos são demasiado complexos para serem facilmente implementados pelas empresas e que não refletem a variabilidade das linhas de montagem reais.

Neste estudo pretendia-se desenvolver um modelo de auxílio ao balanceamento de linhas de montagem manual, para os engenheiros industriais do departamento de VSCM da Bosch Ovar que, ao contrário da maioria dos modelos encontrados na literatura, fosse simples de implementar e pudesse ser adaptado às características particulares das linhas manuais da empresa.

Por essa razão, optou-se por utilizar uma estratégia semelhante à que foi apresentada por Lapierre & Ruiz (2004) e desenvolver uma heurística de prioridade simples, capaz de refletir as especificidades da linha em estudo e implementá-la através de uma aplicação informática já utilizada pela empresa. Optou-se por utilizar o programa Microsoft Excel, visto que esta aplicação possibilita guardar, de forma organizada, grandes quantidades de dados e tem funcionalidades como o VBA que permite programar as várias etapas da heurística.

5.2 Definição da heurística a implementar

A empresa definiu, no início do projeto, que o balanceamento devia ter em conta a uniformização do número de inserções por estação, o tempo de ciclo e o tamanho do bordo de linha da estação.

Define-se que a carga de trabalho de um posto de trabalho corresponde ao tempo total de trabalho atribuído ao mesmo. O tempo de trabalho num dado posto pode contemplar tarefas de inserção manual e outros tipos de tarefas. No caso da inserção manual, uma tarefa corresponde à inserção de um componente.

Pretende-se distribuir uniformemente a carga de trabalho pelos diferentes postos de trabalho, pelo que se considera que o balanceamento a desempenhar se trata de um balanceamento do tipo III (Tabela 2-3).

Uma vez que as tarefas que não são de inserção manual têm restrições que as obrigam a serem executadas em postos de trabalho específicos, o principal propósito deste modelo é distribuir as tarefas de inserção manual pelos vários postos de trabalho, não excedendo o tempo de ciclo definido para o posto de

trabalho e respeitando outras restrições, nomeadamente a do espaço do bordo de linha.

No capítulo 3, salientou-se a importância de garantir uma sequência que facilite a montagem e evite erros, incluindo critérios como a localização dos componentes na placa, em relação ao bordo de linha e ao operador e, o tamanho dos componentes. Por esta razão, ao efetuar o balanceamento, pretende-se garantir que os componentes que são atribuídos aos primeiros postos de trabalho sejam, os componentes mais pequenos e localizados na parte superior da placa e, nos últimos postos sejam, preferencialmente, componentes maiores e localizados na parte mais inferior da placa.

Assim, propõe-se uma heurística de prioridade, que permite atribuir os componentes de inserção manual pelos vários postos de trabalho, tendo também em conta outras tarefas que possam ser desempenhadas nesses postos e respeitando as restrições associadas à linha e às tarefas.

O modelo proposto deve auxiliar os engenheiros industriais na empresa no balanceamento das linhas de montagem manual da Bosch Ovar nas seguintes situações: (i) implementação de um novo produto numa das linhas, (ii) adição de novas tarefas a um processo de montagem, já em vigor numa das linhas, que possa afetar o balanceamento anteriormente definido.

Note-se que, ao longo do presente capítulo os termos “tarefas” e “componentes” são muitas vezes utilizados como sinónimos, para descrever as tarefas de inserção manual dos componentes.

a) Definição do critério de prioridade das tarefas

A primeira etapa na construção da heurística de prioridade é definir uma regra ou um conjunto de regras que permitam estabelecer a ordem pela qual as tarefas de montagem vão ser selecionadas e atribuídas aos postos de trabalho de uma linha (Otto & Otto 2014).

Na literatura, encontram-se várias regras de prioridade consideradas eficientes para o problema do balanceamento de linhas, entre as quais as que são mencionadas na Tabela 2-4. No entanto, estas regras não são aplicáveis às características das linhas manuais de VSCM da Bosch Ovar, pelas seguintes razões:

- (i) Nas linhas deste estudo de caso não existem relações de precedência, pelo que não é possível estabelecer uma prioridade baseada no número de tarefas precedentes, como no caso das regras utilizadas por Kilbridge & Wester (1961) e Hoffmann (1963);
- (ii) O tempo de inserção de cada componente é aproximadamente o mesmo, pelo que este critério não é suficiente para diferenciar as tarefas deste problema particular, o que invalida as regras que se baseiam nos tempos de processamento, como as usadas por Helgeson & Birnie (1961) e por Moodie (1964).

Por essa razão, foi necessário definir uma regra de prioridade que refletisse as características das linhas manuais da empresa que, segundo Scholl & Becker (2006) corresponde a uma regra flexível. Dada a importância do tamanho dos componentes e da sua localização na placa, na sequência da montagem definiu-se, com a ajuda da empresa, que esses deveriam ser os critérios a ditar a prioridade de inserção e consequentemente a prioridade de atribuição dos componentes aos postos. Na Tabela 5-1 estão apresentados os critérios de prioridade utilizados e as respetivas descrições.

Tabela 5-1 – Critérios de prioridade do modelo de apoio ao balanceamento

Critério de prioridade	Descrição
Tamanho do componente	Componentes de pequena dimensão devem ser inseridos antes dos componentes de maior dimensão.
Localização do componente na placa	Componentes localizados na parte superior da placa devem ser inseridos antes dos componentes localizados na parte inferior da placa.

Desta forma e de acordo com a definição de Otto & Otto (2014), apresentada no capítulo 2, a regra a utilizar é de prioridade composta, sendo formada pelos dois critérios enunciados anteriormente.

Para exemplificar a aplicação da regra de prioridade composta mencionada, apresenta-se a Figura 5-1. Seja o retângulo cinzento um PCBA e os círculos azuis dois componentes, A e B, montados no PCBA. O tracejado divide o PCBA em duas partes, a zona superior da placa e a zona inferior. Note-se que apenas foi necessário dividir a placa em duas partes (parte de cima e parte de baixo), para classificar os componentes em relação à sua posição. Para PCBAs mais complexos, maiores ou com mais componentes, pode recorrer-se à divisão em três partes (cima, meio e baixo).

Seja A um componente considerado pequeno e B um componente grande. No exemplo (Figura 5.1), ambos os componentes estão localizados na parte superior da placa. Assim, de acordo com os critérios mencionados, sabe-se que, o a tarefa de inserção manual do componente A tem prioridade em relação à tarefa de inserção manual do componente B, ou seja, o componente A deve ser inserido primeiro do que o componente B.

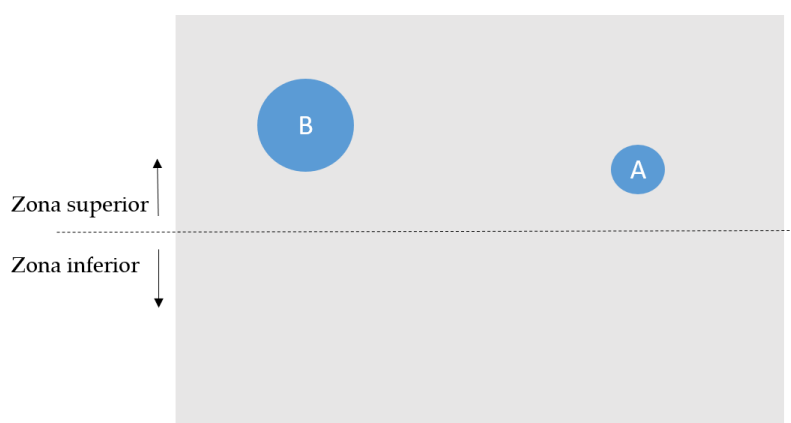


Figura 5-1 - Componentes na zona superior de um PCBA.

Analise-se agora o exemplo da Figura 5-2. Neste exemplo, o componente A passa a estar localizado na zona inferior da placa, o que dificulta a atribuição da prioridade, de acordo com os critérios mencionados anteriormente. Por essa

razão, foram definidas, com o auxílio da empresa, escalas que permitem atribuir uma pontuação aos componentes, com base no seu nível de criticidade, em cada critério.

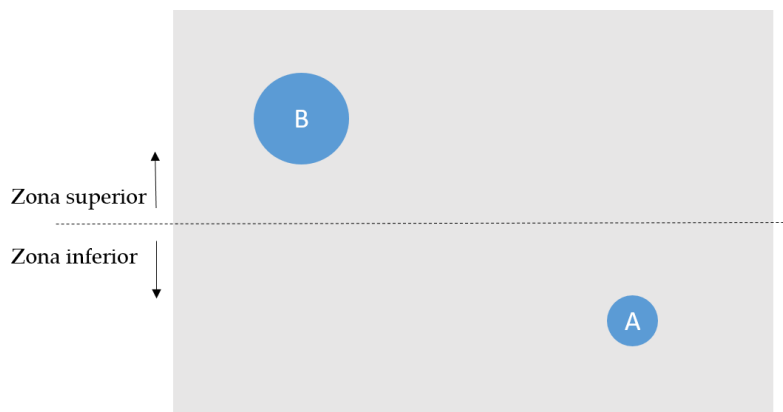


Figura 5-2 - Componentes nas zonas superior e inferior de um PCBA.

As escalas usadas são de 1, 3 e 5, sendo que a pontuação de 5 é atribuída ao nível que deve ter maior prioridade, dentro desse critério e 1 a pontuação atribuída ao nível menos crítico e, conseqüentemente, com menor prioridade. Na Tabela 5-2 são apresentados os critérios e as respectivas escalas de pontuações de prioridade.

Tabela 5-2 - Pontuações atribuídas em função do critério de prioridade

Critério	Tipo	Pontuação
Tamanho do componente	Pequeno	5
	Médio	3
	Grande	1
Localização do componente na placa	Cima	5
	Meio	3
	Baixo	1

A empresa estipulou que a localização do componente no PCBA representa maior criticidade no processo de montagem do que o tamanho dos componentes. Desta forma, a prioridade composta de um componente denomina-se por “peso do componente” e é obtida através da expressão 1:

$$\text{Peso} = \text{Pontuação do tamanho} + 2 * \text{Pontuação da localização} \quad (1)$$

À semelhança das heurísticas de Helgeson & Birnie (1961) (maior peso posicional) e de Moodie (1964) (maior tempo de tarefa), quanto maior o peso de um componente, maior é a sua prioridade.

Retomando o exemplo da Figura 5-2, é possível calcular, agora, o peso dos componentes A e B, com base nas pontuações da Tabela 5-2 e na expressão 1. O componente A como é pequeno tem uma pontuação de 5 pontos e como está localizado na parte de baixo da placa tem uma pontuação de 1 ponto, o que perfaz um peso de 7 pontos ($5+2*1$). O componente B é grande, por isso tem uma pontuação de 1 e está localizado na parte de cima do PCBA, que corresponde a 5 pontos, garantindo um peso de 11 pontos ($1+2*5$). Assim, de acordo com a regra de prioridade, o componente B deve ser o primeiro a ser atribuído a um posto de trabalho. Desta forma, as tarefas com maior prioridade devem ser atribuídas aos postos de trabalho mais iniciais na linha de montagem (iniciando a atribuição ao primeiro posto de trabalho).

b) Identificação de restrições

Visto que os componentes são transportados e armazenados em contentores e que cada posto de trabalho tem associado um determinado espaço de bordo de linha, apenas é possível colocar um determinado número de contentores por posto de trabalho. Considera-se, por isso, que existem restrições de espaço a ter em consideração durante o balanceamento: o espaço total ocupado pelos contentores dos componentes atribuídos a um determinado posto de trabalho não pode exceder o espaço do bordo de linha do mesmo.

O tempo de ciclo por posto de trabalho e o takt time da linha, são definidos, pelo engenheiro industrial, em função das necessidades de produção e do número de postos de trabalho na linha de montagem. Assim, constituem também uma restrição, sendo que, para um determinado posto de trabalho, o tempo total de trabalho no posto, não pode exceder o tempo de ciclo definido.

São também consideradas restrições de recursos, que obrigam a que determinadas tarefas tenham de ser atribuídas a postos de trabalho específicos. Estas restrições são denominadas no modelo por “restrições de posto”.

Para criar uma sequência que facilite a montagem podem ainda ser definidas outras restrições. Com base no artigo de Lapierre & Ruiz (2004) foram definidos dois tipos de restrições: (i) restrição “*co task*”, que obriga a que tarefas que devem ser executadas simultaneamente sejam atribuídas ao mesmo posto de trabalho e (ii) restrição “*no task*” que obriga a que componentes semelhantes fisicamente, mas com funções diferentes, sejam atribuídos a postos de trabalho diferentes.

Segundo Becker & Scholl (2006), tarefas que têm de ser atribuídas ao mesmo posto de trabalho, podem ser combinadas numa única tarefa, por isso, no caso das *co-tasks*, soma-se o tempo das tarefas que devem ser atribuídas em conjunto. Para tarefas que correspondem à inserção manual de componentes, soma-se também o tamanho dos seus contentores. No caso de os componentes serem considerados *co-tasks* terem tamanhos diferentes, prevalece o tamanho mais crítico, como fator de desempate (por exemplo entre um componente pequeno e um médio, é considerado o tamanho pequeno). Da mesma forma, se um componente tiver uma restrição de posto ou *no-tasks* associadas, essas condições são válidas para todos os componentes que integram esse conjunto de *co-tasks*.

c) Definição da Heurística de Prioridade

Optou-se por utilizar uma metodologia orientada pela tarefa: as tarefas são atribuídas ao primeiro posto de trabalho até se atingir o tempo de trabalho máximo e/ou o espaço do bordo de linha, nesse posto de trabalho. Nesse momento,

inicia-se a atribuição ao segundo posto de trabalho e assim sucessivamente até que todas as tarefas tenham sido atribuídas.

De acordo com o critério “peso” definido (expressão 1), as tarefas com maior peso são atribuídas primeiro. No entanto, para garantir que as restrições de postos são sempre respeitadas, estabeleceu-se que as tarefas com restrições de postos são atribuídas em primeiro lugar.

Assim, a heurística de prioridade proposta pode ser descrita pelas seguintes etapas:

- (i) Atribuição da pontuação de cada critério, com base nas escalas apresentadas na Tabela 5-2, para cada tarefa associada à montagem de um dado produto;
- (ii) Cálculo do peso de cada tarefa, de acordo com a expressão 1;
- (iii) Sequenciação das tarefas por ordem decrescente do peso;
- (iv) Definição do tempo de ciclo e do tamanho do bordo em cada posto de trabalho;
- (v) Atribuição das tarefas com restrições de posto de trabalho;
- (vi) Atribuição da tarefa com maior peso ao primeiro posto de trabalho disponível, respeitando as restrições associadas ao posto de trabalho. Se uma tarefa não respeita as restrições associadas a um posto de trabalho, procura-se a tarefa seguinte com maior peso, por atribuir. Quando o espaço e/ou o tempo de ciclo de um posto de trabalho é atingido inicia-se a atribuição de tarefas a um novo posto de trabalho;
- (vii) Este procedimento repete-se até que não existam tarefas por atribuir.

Quando uma tarefa é atribuída a um posto de trabalho, soma-se o seu tempo ao tempo total já atribuído ao posto de trabalho e o tamanho do seu contentor ao espaço ocupado no bordo de linha do posto. A tarefa passa a estar “atribuída”.

No caso das tarefas que não são de inserção manual, deve identificar-se o posto de trabalho ao qual estas têm de ser obrigatoriamente atribuídas (restrições de posto), para que estas sejam atribuídas na etapa (v) da heurística mencionada

anteriormente. Deve identificar-se o tempo de execução de cada uma destas tarefas e considerar-se que o espaço que estas ocupam é igual a zero (visto não terem contentores associados). Como o funcionamento do modelo implica o cálculo do peso da tarefa, define-se que para estas tarefas pode ser dada a pontuação máxima em cada um dos critérios.

5.3 Construção do modelo

O modelo foi estruturado através da funcionalidade de VBA do Microsoft Excel. Algumas explicações relativas à construção do código podem ser consultadas em anexo (Anexo B).

Para além da distribuição das tarefas pelos postos de trabalho, incluíram-se outras funcionalidades no modelo, de forma a contemplar outras questões relevantes nas linhas de montagem da Bosch Ovar. Assim, procurou-se incluir a diminuição do número de mudanças de componentes comuns por *setup* (através da definição de postos de trabalho standard para os componentes comuns) e a criação das instruções de trabalho.

5.3.1 Inputs do modelo

No modelo, a classificação das tarefas de acordo com a sua prioridade (maior peso), bem como o balanceamento, é realizada de forma automática, através de botões de comando, criados no Excel. No entanto, é necessário que o utilizador adicione as informações sobre a linha a ser balanceada, sobre os componentes a serem inseridos manualmente e sobre outras tarefas que possam existir.

O ficheiro Excel está dividido em três separadores, designados por “Base de Dados”, “Input dos Componentes” e “Postos”. A função de cada uma destas folhas é descrita em seguida.

a) Separador "Base de Dados"

O separador "Base de Dados" funciona como uma base de dados para o registo de parâmetros constantes relativos aos componentes. Para o balanceamento de vários produtos de uma mesma família, o utilizador apenas tem de inserir uma vez a informação e esta fica guardada para utilizações futuras.

Na Tabela 5-3 é apresentado um exemplo de um separador "Base de Dados". Nas primeiras duas colunas, o utilizador insere informação que permite identificar o componente ou a tarefa em questão. Na coluna "tamanho do componente", as letras p, m e g designam, respetivamente, se um componente é pequeno, médio ou grande. O "tamanho do contentor" diz respeito à largura, em centímetros, do contentor onde o componente é transportado e armazenado. Na coluna "restrição do posto" coloca-se o número do posto de trabalho ao qual o componente tem de ser obrigatoriamente atribuído. A coluna "no_task" identifica os componentes que são incompatíveis e que, por isso, devem ser atribuídos a postos de trabalho diferentes. A coluna "co_task" identifica os componentes que devem ser inseridos juntos, no mesmo posto de trabalho.

No exemplo da figura existem tarefas de inserção manual (inserção dos componentes C1, C2, C3, C4, C5 e C6) e uma tarefa que não é de inserção manual que corresponde ao PCBA (retirar PCBA da cassete e colar uma etiqueta). Esta última tarefa, como foi referido anteriormente, é inserida no modelo com pontuação máxima (tamanho = p), com a identificação da restrição do posto de trabalho (tem de ser executada no posto de trabalho 1) e considera-se que não ocupa espaço no bordo de linha (tamanho do contentor = 0).

O componente C3 também tem uma restrição de posto associada, tendo de ser obrigatoriamente atribuído ao posto de trabalho 2. Os componentes C2 e C4 são "no tasks", o que significa que não podem ser atribuídos ao mesmo posto de trabalho. Os componentes C5 e C6 são "co tasks" e, por isso, existe uma linha onde aparecem na forma "C5 + C6", como se fossem um único componente: o tamanho do contentor corresponde à soma dos dois contentores individuais de

cada um dos componentes ($22 = 12,5 + 9,5$) e o tempo de inserção corresponde à soma dos tempos individuais ($4 = 2 + 2$).

Tabela 5-3 – Separador "Base de Dados" do ficheiro Excel

Componente/ Tarefa	Descrição	Tamanho do componente	Tamanho do contentor (cm)	Restrição do Posto	Tempo da tarefa (s)	No_task	co_task
C1	Varistor	m	12,5		4		
C2	Resistência	p	12,5		4	C4	
C3	Transformador	g	30	2	4		
C4	Resistência	p	12,5		4	C2	
PCBA	Placa com etiqueta	p	0	1	8		
C5	Fusível	m	9,5		2		C6
C6	Suporte fusível	m	12,5		2		C5
C5 + C6	Suporte e fusível	m	22		4		

b) Separador "Input dos Componentes"

Este separador destina-se às informações variáveis relativas a cada componente: dependendo do produto a ser montado, o número de inserções e a localização do componente na placa podem variar. Assim, o utilizador insere essas informações e em seguida o peso do componente é calculado de forma automática, de acordo com a expressão (1).

Na Figura 5-3, está a separador de "Input dos componentes" para o exemplo mencionado anteriormente. Na coluna "localização do componente na placa" podem surgir três designações c, m e b que dizem respeito, respetivamente, a um componente localizado na parte de cima da placa, no meio ou na parte de baixo.

Repare-se que no caso dos componentes C5 e C6, estes são adicionados como "co task", escritos na forma "C5+C6". Em relação à tarefa "PCBA", que corresponde à tarefa de retirar o PCBA da cassete e colar a etiqueta, esta conta como uma inserção e tem pontuação máxima no critério da localização na placa (localização = c).

No separador "Input dos Componentes", o utilizador aciona o botão "Ordenar por Peso" que ordena automaticamente os componentes, por ordem decrescente do seu peso e ativa a separador onde será executado o balanceamento (separador "Postos").

INFORMAÇÃO DOS COMPONENTES				COMANDOS	
Componente	Nº inserções	Localização do componente na placa	Peso	ORDENAR POR PESO	LIMPAR REGISTOS
C1	2	c	13		
C2	1	b	7		
C3	1	b	3		
C4	1	c	15		
C5 + C6	2	b	5		
PCBA	1	c	15		

Figura 5-3 - Separador "Input dos Componentes" do ficheiro Excel.

c) Separador "Postos"

Neste separador são inseridas as informações sobre a linha e os seus postos de trabalho. O utilizador deve especificar o número de postos de trabalho da linha, o *takt time* pretendido e o tempo de ciclo em cada posto de trabalho, (ambos em segundos) bem como o espaço do bordo de linha nos mesmos (em centímetros). Devem ainda ser incluídos o nome da linha e do produto em análise, como é apresentado na Figura 5-4.

FOLHA DE BALANCEAMENTO - LINHAS MANUAIS

Linha: Lx Código em análise: produto_x

LISTA DE COMPONENTES

Componente	Estado
C1	
C4	
PCBA	
C8	
C11	
C2	
C5 + C6	
C9	
C10	
C3	

INFORMAÇÃO DO PRODUTO

Tempo de ciclo do produto	52
Takt time do produto	30
Nº postos recomendados de acordo com takt time	2
Nº total de inserções	12

INFORMAÇÃO DA LINHA

Posto	1
Tamanho bordo linha (cm)	90
Tempo de ciclo no posto	30
Posto	2
Tamanho bordo linha (cm)	90
Tempo de ciclo no posto	30
Posto	
Tamanho bordo linha (cm)	

COMANDOS

ATRIBUIR COMPONENTES SEM REGISTO CRIAR TABELA DE REGISTO CRIAR PQI LIMPAR REGISTO DA ATRIBUIÇÃO

ATRIBUIR COMPONENTES COM REGISTO GUARDAR REGISTOS COMUNALIDADE

DISTRIBUIÇÃO DOS COMPONENTES PELOS POSTOS

Posto	
Tempo de ciclo do posto	
Espaço ocupado no posto (cm)	
Nº inserções por posto	
Componentes atribuídos	

Figura 5-4 - Separador "Postos" do ficheiro Excel.

No exemplo, o utilizador definiu que a linha de montagem em análise tem dois postos de trabalho, cada um com um espaço total de 90 cm no bordo de linha e que o tempo de trabalho em cada posto não deve exceder os 30 segundos. Na

lista dos componentes, a coluna “estado” está por preencher, o que significa que ainda nenhum dos componentes foi atribuído.

Para iniciar o processo de distribuição dos componentes e restantes tarefas pelos postos de trabalho, o utilizador deve acionar o botão de comandos “atribuir componentes sem registo”, obtendo a distribuição apresentada na figura 5-5.

FOLHA DE BALANCEAMENTO - LINHAS MANUAIS

Linha: Lx Código em análise: produto_x

Componente	Estado
C1	atribuído
C4	atribuído
PCBA	atribuído
C8	atribuído
C11	atribuído
C2	atribuído
C5 + C6	atribuído
C9	atribuído
C10	atribuído
C3	atribuído

INFORMAÇÃO DO PRODUTO

Tempo de ciclo do produto	52
Takt time do produto	30
Nº postos recomendados de acordo com takt time	2
Nº total de inserções	12

INFORMAÇÃO DA LINHA

Posto	1
Tamanho bordo linha (cm)	90
Tempo de ciclo no posto	30
Posto	2
Tamanho bordo linha (cm)	90
Tempo de ciclo no posto	30
Posto	
Tamanho bordo linha (cm)	

COMANDOS

DISTRIBUIÇÃO DOS COMPONENTES PELOS POSTOS

Posto	1	2
Tempo de ciclo do posto	28	24
Espaço ocupado no posto (cm)	50	89,5
Nº inserções por posto	6	6
Componentes atribuídos	PCBA	C3
	C1	C2
	C4	C5 + C6
	C8	C9
	C11	C10

Figura 5-5 - Balanceamento no separador "Postos" do ficheiro Excel.

Observa-se que, de acordo com o peso e as restrições definidas, os componentes C1, C4, C8 e C11 foram atribuídos ao posto de trabalho 1, para além da tarefa "PCBA" (equivalente a retirar o PCBA da cassete e colar uma etiqueta). O tempo total de trabalho nesse posto é de 28 segundos (inferior ao tempo de ciclo definido) e o espaço ocupado no bordo de linha é de 50 cm. Da mesma forma observa-se que, ao posto de trabalho 2 são atribuídos os componentes C3, C2, C5+C6, C9 e C10, o que perfaz um tempo de trabalho de 24 segundos (também inferior ao tempo de ciclo) e um espaço ocupado de 89,5cm.

5.3.2 Postos de trabalho standard para componentes comuns

Tal como foi mencionado no capítulo 4, a empresa quer garantir que, nas linhas de montagem manual, os componentes comuns a vários produtos sejam

sempre atribuídos a um posto de trabalho específico, independentemente do produto que esteja a ser montado.

Para ir ao encontro de este requisito, foi adicionada uma nova funcionalidade ao modelo de apoio ao balanceamento: uma vez obtida a atribuição dos componentes aos diferentes postos de trabalho, para um dado produto, é possível guardar o registo dessa atribuição e usá-la para um produto diferente, com componentes comuns. Assim, os componentes comuns aos vários produtos são sempre atribuídos aos mesmos postos de trabalho. Para exemplificar esta situação apresenta-se a Tabela 5-4, onde é visível a separador “Base de Dados” e a coluna “Postos gravados”, onde fica registado o número do posto de trabalho onde o componente foi atribuído.

Tabela 5-4 – Separador "Base de Dados" com postos gravados.

Componente/ Tarefa	Descrição	Tamanho do componente	Tamanho do contentor (cm)	Restrição do Posto	Tempo da tarefa (s)	No_task	co_task	Postos gravados
C1	Varistor	m	12,5		4			1
C2	Resistência	p	12,5		4	C4		2
C3	Transformador	g	30	2	4			2
C4	Resistência	p	12,5		4	C2		1
PCBA	Placa com etiqueta	p	0	1	8			1
C5	Fusível	m	9,5		2		C6	
C6	Suporte fusível	m	12,5		2		C5	
C5 + C6	Suporte e fusível	m	22		4			2
C8	Régua de contacto	m	12,5		4			1
C9	Resistência	m	12,5		4			2
C10	Condensador	m	12,5		4			2
C11	Condensador	m	12,5		4			1

Assim, retomando o exemplo da Figura 5-5, após obter a distribuição dos componentes pelos postos de trabalho, para o produto x, o utilizador pode seleccionar o botão de comando “guardar registos comunalidade”. Este botão guarda, de forma automática, a informação da distribuição no separador “Base de Dados”.

Agora, suponha-se que se pretende balancear a linha de montagem para o produto y, da mesma família do produto x. Estes dois produtos têm componentes comuns e componentes diferentes, como é apresentado na Tabela 5-5

Tabela 5-5 – Exemplo dos produtos x e y e seus componentes.

Produto x	Produto y
Componentes: C1 C2 C3 C4 C5 + C6 C8 C9 C10 C11	Componentes: C1 C2 C3 C4 C5 + C6 C7 C12 C13 C14

Para garantir que os componentes comuns aos dois produtos são atribuídos aos mesmos postos de trabalho pode utilizar-se a funcionalidade de balanceamento com base nos registos anteriores. Assim, para utilizar esta funcionalidade, é necessário que já tenha sido efetuado pelo menos um balanceamento para um determinado produto e que os registos desse balanceamento tenham sido guardados na coluna "Postos gravados", do separador "Base de Dados". A título de exemplo, considere-se que já se tinha efetuado o balanceamento para o produto x e guardado a informação dos postos no separador "Base de Dados" e que agora se pretende fazer o balanceamento do para o produto y.

Para que os componentes comuns dos produtos x e y sejam atribuídos aos mesmos postos de trabalho (postos standard), ao efetuar o balanceamento do produto y, o utilizador deve selecionar o botão de comando "atribuir componentes com registo". Desta forma os componentes comuns são atribuídos aos postos de trabalho que estão registados no separador "Base de Dados" e os restantes componentes são atribuídos pelo processo normal. Este exemplo encontra-se representado na Figura 5-6.

Com esta funcionalidade, o utilizador garante que minimiza o número de trocas de componentes comuns entre postos de trabalho e garante a standardização do trabalho, de uma forma simples e eficiente.

BOSCH FOLHA DE BALANCEAMENTO - LINHAS MANUAIS

Linha: Lx: Código em análise: produto_y:

Componente	Estado
C1	atribuído
C4	atribuído
PCBA	atribuído
C7	atribuído
c13	atribuído
c14	atribuído
C2	atribuído
C5 + C6	atribuído
c12	atribuído
C3	atribuído

INFORMAÇÃO DO PRODUTO	
Tempo de ciclo do produto	52
Takt time do produto	30
Nº postos recomendados de acordo com takt time	2
Nº total de inserções	12

INFORMAÇÃO DA LINHA	
Posto	1
Tamanho bordo linha (cm)	90
Tempo de ciclo no posto	30
Posto	2
Tamanho bordo linha (cm)	90
Tempo de ciclo no posto	30
Posto	

COMANDOS

DISTRIBUIÇÃO DOS COMPONENTES PELOS POSTOS		
Posto	1	2
Tempo de ciclo do posto	28	24
Espaço ocupado no posto (cm)	50	89,5
Nº inserções por posto	6	6
Componentes atribuídos	C1	C2
	C4	C5 + C6
	PCBA	C3
	C7	c14
	c13	c12

Figura 5-6 - Balanceamento com base em registos anteriores.

5.3.3 Criação de Instruções de Trabalho

Para tornar este modelo de apoio ao balanceamento ainda mais adaptado às necessidades da empresa, foi também criada uma funcionalidade que permite a criação de instruções de trabalho (PQI's) com base nas atribuições geradas no balanceamento.

Assim, após o balanceamento, é possível gerar automaticamente instruções de trabalho, que definem a sequência de montagem, em cada posto de trabalho, de acordo com o standard definido pela Bosch. Para tal apenas é necessário seleccionar o botão de comandos “criar PQI”, presente no separador “Postos”.

5.4 Análise de Resultados

De uma forma sucinta, o modelo de apoio ao balanceamento de linhas de montagem manual proposto, pode ser descrito de acordo com o esquema da Figura 5-7.

Para avaliar a eficácia do modelo de apoio ao balanceamento a um caso real, aplicou-se o modelo a um dos produtos montado na linha THTx-A. Pretendia-se verificar se a distribuição dos componentes, proposta pelo modelo de apoio ao balanceamento apresentava vantagens face à distribuição atual e qual a perceção dos operadores relativamente à mesma.

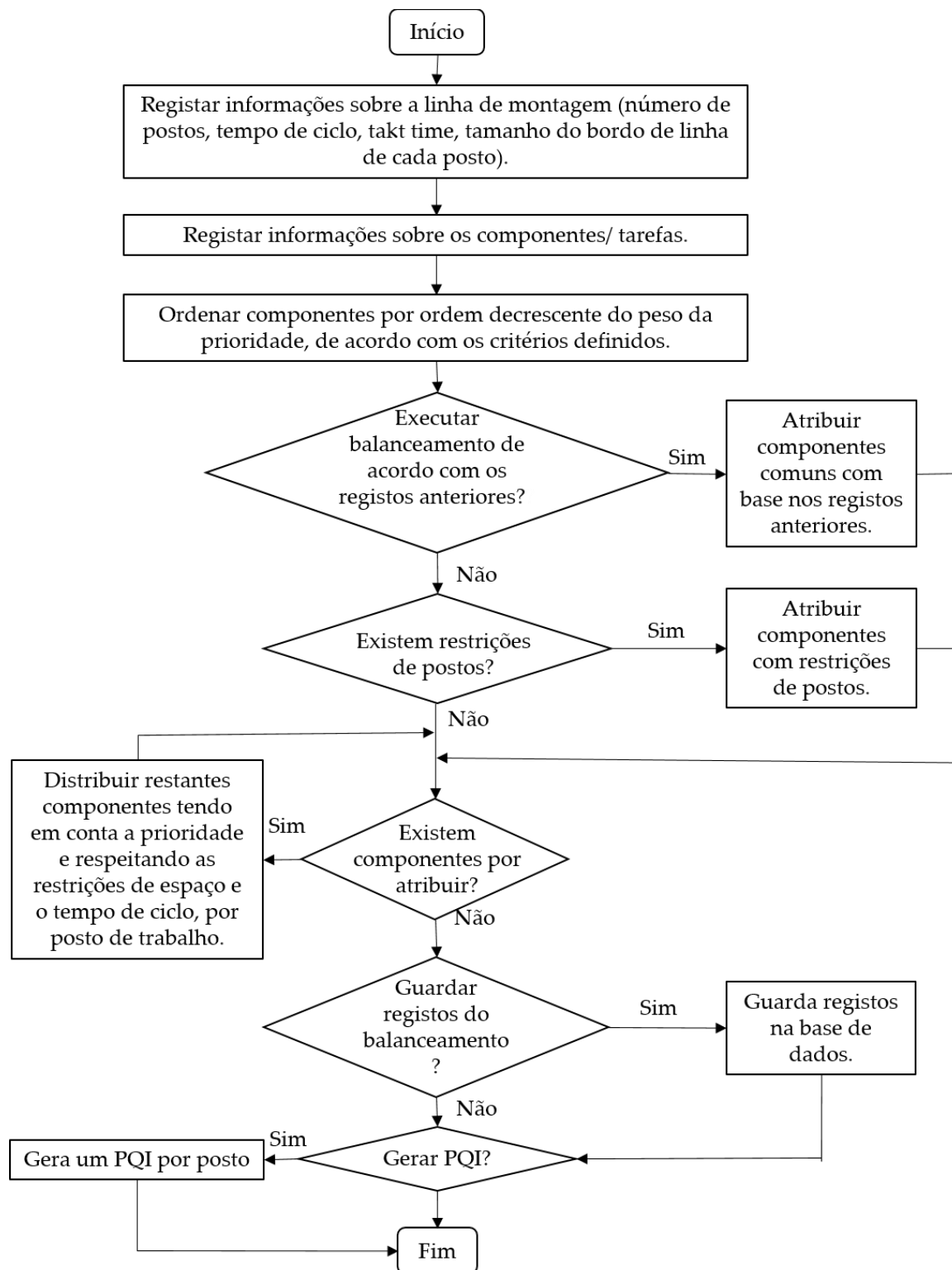


Figura 5-7 - Modelo de apoio ao balanceamento de linhas de montagem.

No ficheiro do Excel inseriram-se as informações relativas ao tamanho do bordo de linha dos cinco postos de trabalho da linha THTx-A e definiu-se o takt time atualmente utilizado na linha (em média 43 segundos). Considerou-se que o tempo de inserção de um componente era de 4 segundos. Para as restantes tarefas como retirar o PCBA da cassette e colar uma etiqueta (na primeira estação de trabalho), montar chapas dissipadoras e colocar o PCBA no caixilho (ambas na quinta estação de trabalho), foram considerados os tempos apresentados na Tabela 3-1. Incluíram-se ainda informações de restrições de incompatibilidade de componentes (*“no tasks”*) identificadas durante a fase de análise das atividades (capítulo 3).

Após inserir toda a informação necessária, selecionou-se o botão de comando “atribuir componentes sem registo” e, em poucos segundos, obteve-se uma solução. O modelo do Excel distribuiu os componentes do produto pelos cinco postos de trabalho, de tal forma que o tempo de trabalho previsto nos postos 1, 2, 3 e 4 era de 40 segundos e no posto de trabalho 5 era de 38 segundos.

A sequência de montagem proposta pelo modelo, apresenta diferenças consideráveis da sequência atual. Como exemplo, apresenta-se a Figura 5-8 que revela os componentes atualmente atribuídos ao posto de trabalho 1, para o produto em análise.

Em seguida, apresenta-se a Figura 5-9, que representa a sequência de montagem para o posto de trabalho 1, proposta pelo modelo. Nesta figura é visível a aplicação dos critérios de prioridade definidos para a heurística, uma vez que os componentes atribuídos ao primeiro posto de trabalho da linha correspondem aos componentes mais pequenos e localizados na parte superior da placa.

A partir do botão de comando “criar PQI” do ficheiro Excel, foram criados os PQI’s para cada um dos postos de trabalho da linha THTx-A. Apresentaram-se estes PQI’s aos operadores da linha e foi-lhes pedido que executassem a montagem das placas de acordo com os mesmos.

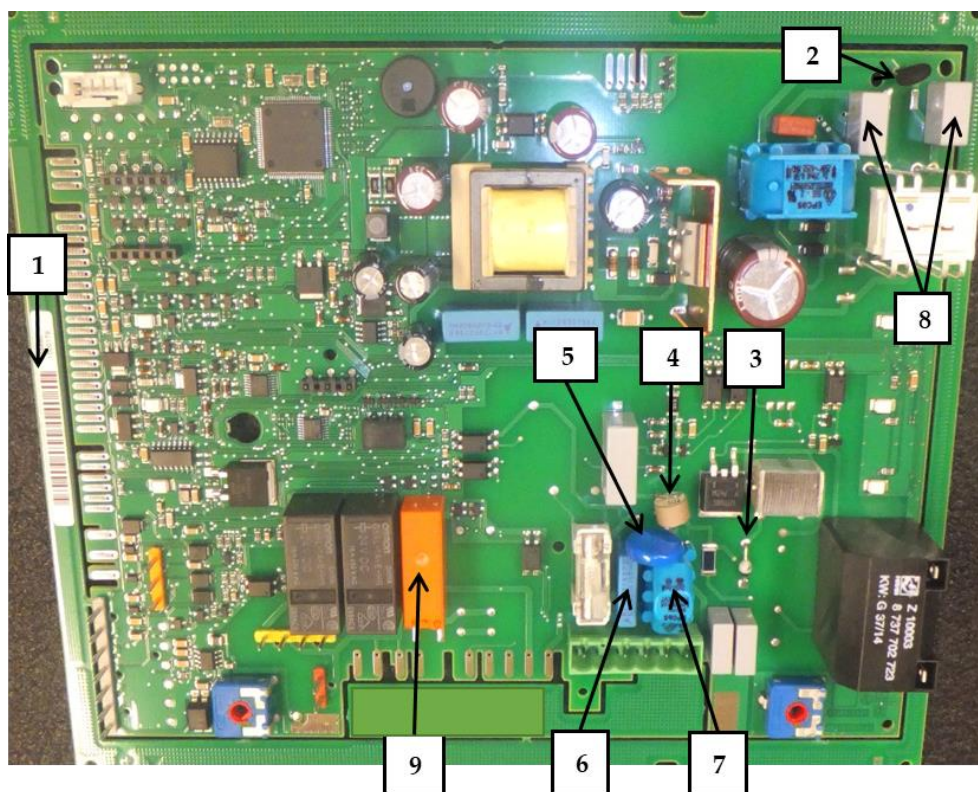


Figura 5-8 - Esquema de montagem inicial, para o posto de trabalho 1.

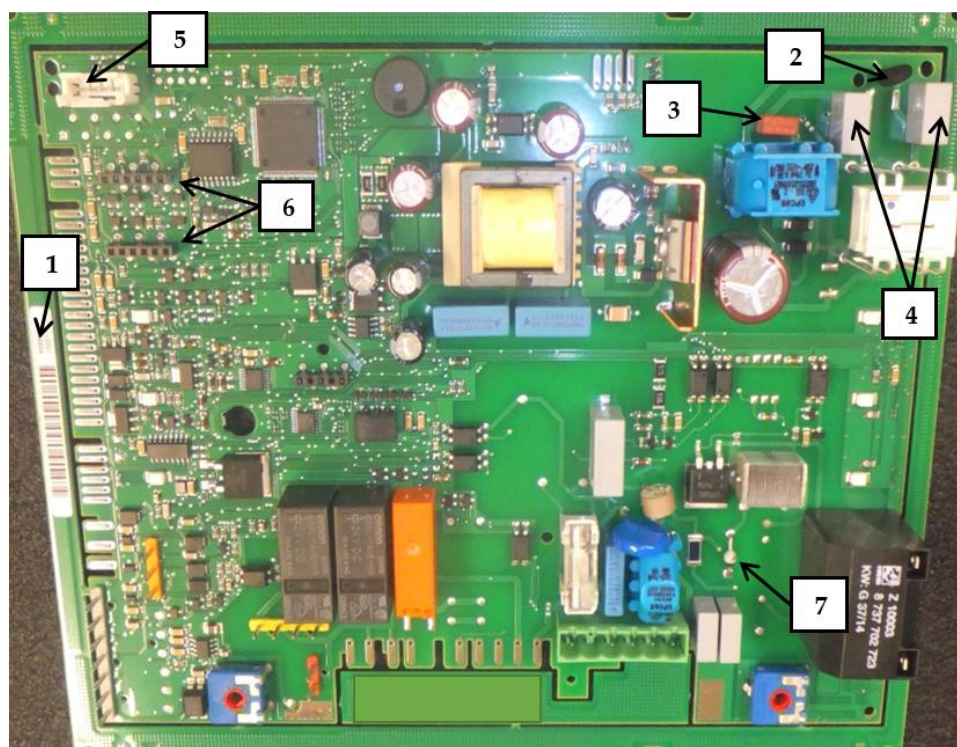


Figura 5-9 - Esquema de montagem proposto, para o posto de trabalho 1.

Procedeu-se à medição dos tempos em cada posto de trabalho e à identificação do tempo de ciclo. Na Figura 5-10 apresenta-se o gráfico de Yamazumi construído com base nos tempos recolhidos. Verificou-se que os tempos de trabalho em todos os postos de trabalho eram aproximadamente iguais, sendo que, por isso, a eficiência da linha, para cinco operadores, é de 98% (de acordo com o indicador eficiência da linha).

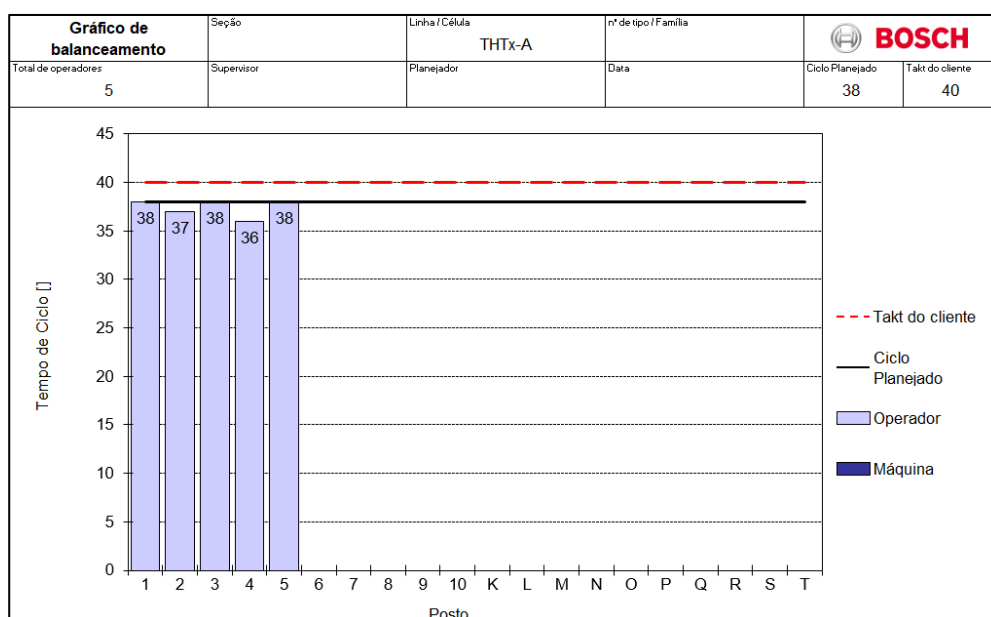


Figura 5-10 - Gráfico de Yamazumi do balanceamento segundo o modelo.

Os operadores da linha foram ainda questionados sobre a sua opinião relativamente à distribuição dos componentes e à sequência de montagem. Estes consideraram a sequência de montagem mais fácil, o que, aliado à percentagem de balanceamento obtida permite concluir que o modelo proposto é capaz de gerar soluções aceitáveis, em tempo útil. No entanto, salientaram a dificuldade de adaptação a uma sequência de trabalho completamente diferente da qual estão habituados. Uma nova sequência, que represente grandes alterações ao processo, implica um período de adaptação por parte dos operadores, durante o qual é expectável que a capacidade produtiva dos mesmos diminua, levando a perdas de produção. Nesta situação em particular, a modificação da distribuição dos

componentes não é suficientemente benéfica para alterar radicalmente todos os procedimentos de trabalho na linha, pelo que a empresa optou por manter a distribuição atual, nesta linha.

Por outro lado, considera-se que o modelo de apoio ao balanceamento pode ser extremamente útil em situações em que é necessário realizar alterações nas linhas, como por exemplo para reduzir o número de postos na linha, e/ou para implementar produtos novos em linhas já existentes. Nestas situações, o modelo apresenta três grandes vantagens, pois permite:

- (i) Uniformizar o processo de balanceamento, através da utilização de critérios específicos para a distribuição dos componentes pelos postos de trabalho de uma linha e de um ficheiro standard para o balanceamento que pode ser utilizado e consultado pelos vários engenheiros industriais da Bosch Ovar;
- (ii) Uniformizar, para produtos com componentes comuns, o processo de montagem, através do registo das distribuições anteriores, de forma a garantir postos standards aos quais os componentes comuns são atribuídos.
- (iii) Agilizar o balanceamento, permitindo aos engenheiros industriais simularem vários cenários para uma linha de montagem, num curto espaço de tempo e obtendo soluções suficientemente boas, garantindo que as várias restrições são respeitadas.

6

Capítulo 6 – Conclusões e Trabalhos Futuros

O presente capítulo é dedicado à apresentação das principais conclusões relativas ao estudo elaborado. São ainda mencionadas algumas recomendações para trabalhos futuros.

Num ambiente empresarial cada vez mais competitivo, as empresas procuram, constantemente, formas de melhorarem continuamente os seus processos, no sentido de eliminarem os desperdícios. Para tal, as empresas recorrem a ferramentas Lean que permitem, de forma simples e eficaz, identificar oportunidades de melhoria e implementar soluções, que tornam os processos mais eficientes e produtivos. Ao nível das linhas de montagem manual, pode ainda recorrer-se ao balanceamento, para, por exemplo, uma gestão mais efetiva dos recursos humanos e garantir uma distribuição uniforme do trabalho pelos vários postos de trabalho.

Nesse contexto, o departamento do VSCM da Bosch Ovar propôs um estudo de caso, com dois propósitos: (1) o estudo de uma linha manual e a implementação de ferramentas de melhoria contínua, para aumentar a eficiência da mesma e (2) desenvolver um modelo de apoio ao balanceamento adaptado às características das linhas de montagem manual. As alterações recentes na linha

de montagem manual, utilizada como estudo de caso, despoletaram a necessidade de confirmar o estado atual da linha e identificar oportunidades de melhoria, nomeadamente ao nível do balanceamento, da taxa de produção da linha e dos documentos standards. O modelo de apoio ao balanceamento surge como uma ferramenta para tornar o processo de balanceamento mais prático e uniforme, com critérios bem definidos e regras estruturadas. Assim, definiu-se como metodologia de investigação o estudo de caso e desenvolveram-se em paralelo os dois objetivos propostos.

Para o estudo da linha de montagem manual foram aplicadas três ferramentas de melhoria contínua: o estudo dos tempos e a análise do processo, a standardização do trabalho e o relatório A3.

Através da análise do processo é possível identificar desperdícios e oportunidades de melhoria, definir os melhores métodos de trabalho, constatar restrições e compreender, ao pormenor, o processo em análise. O estudo dos tempos permite mensurar as atividades de um processo, através da quantificação do tempo standard para executar cada tarefa. Assim, com o estudo dos tempos e a análise do processo na linha de montagem manual foi possível recolher os tempos das tarefas necessários para a avaliação do estado inicial da linha manual em análise (primeiro objetivo) e, ainda, identificar as principais características da linha para incluir no modelo de apoio ao balanceamento (segundo objetivo).

O relatório A3 foi utilizado como ferramenta de resolução de problemas, no estudo da linha de montagem manual. Definiu-se o seguinte plano de ações, para melhorar a eficiência da linha manual: (1) rever o balanceamento atualmente em vigor, (2) reduzir o número de mudanças de componentes comuns entre postos de trabalho, entre *setups*, (3) atualizar as taxas de produção da linha, com base nos tempos standards das tarefas e (4) atualizar os documentos standard utilizados na linha de montagem.

Através do estudo dos tempos e a análise do processo, verificou-se que o balanceamento médio para o cenário de cinco operadores a trabalhar na linha, atualmente em vigor, é de 91%, pelo que as restantes ações foram implementadas

considerando aceitável a distribuição atual das cargas de trabalho, pelos cinco postos. Uma análise aos componentes comuns aos vários produtos montados na linha, seguida de uma definição de postos de trabalho standard para os diversos componentes comuns, permitiu uma redução de 66% do número de mudanças de componentes comuns, por *setup*. O estudo dos tempos permitiu atualizar as taxas de produção, o que se refletiu num aumento de 13% do número médio de unidades montadas por hora.

A standardização do trabalho, através da atualização dos documentos standards, contemplou a elaboração de instruções de trabalho, de diagramas de esparguete e gráficos de Yamazumi. Estes documentos refletem as restantes medidas implementadas, visto que, é através destes documentos que o processo é comunicado aos operadores. Por essa razão, é crucial garantir que os documentos standard refletem todas as melhorias efetuadas na linha e que estes contribuem para a diminuição de erros de montagem e da variabilidade do processo.

As ações implementadas na linha de montagem, utilizada como estudo de caso, contribuíram para a diminuição do tempo de ciclo médio estipulado para a linha, o que contribuiu para a redução de cerca de 8% do custo de montagem do produto (dado em função do tempo despendido para a montagem de um produto e o custo da mão de obra). A redução do custo de montagem do produto corresponde a um aumento da eficiência da linha de montagem, uma vez que foi possível aumentar a taxa de produção, diminuindo os recursos utilizados.

O estudo dos tempos e a análise do processo e a standardização do trabalho, tal como proposto na metodologia Lean, permitiram eliminar desperdícios, nomeadamente, os tempos de inatividade na linha (através do estudo dos tempos e consequente atualização das taxas de produção), o tempo de *setup* (através da diminuição do número de trocas de componentes comuns entre postos de trabalho, por *setup*) e a variabilidade do processo de montagem (através da atualização dos documentos standards). Por outro lado, o conhecimento sobre o estado atual

do processo, graças ao estudo dos tempos e análise do processo e dos documentos standard, constitui uma base de trabalho para ações de melhoria contínua que se pretendam implementar no futuro.

Em suma, com este estudo, é possível concluir que as três ferramentas de melhoria contínua utilizadas, em particular o estudo dos tempos e a análise do processo e a standardização, refletem os benefícios da aplicação da metodologia Lean em linhas de montagem manual. Estas ferramentas não requerem investimentos extras, por parte das empresas e, são uma solução simples para alcançar a produtividade e eficiência, através de um foco contínuo na eliminação de atividades sem valor acrescentado e do envolvimento de toda a organização no processo de melhoria.

Para o desenvolvimento de modelo de apoio ao balanceamento (segundo objetivo proposto), foi necessário utilizar as informações recolhidas durante a fase do estudo dos tempos e análise do processo. As tarefas manuais das linhas manuais da Bosch têm características específicas, nomeadamente, não existem relações de precedência entre as tarefas, existem restrições de recursos e de incompatibilidade de componentes e os tempos de inserção serem aproximadamente iguais. Por outro lado, existem critérios como o tamanho dos componentes e a localização dos mesmos no PCBA que, ao serem empregues no processo de distribuição dos componentes pelos postos de trabalho, facilitam a montagem.

Apesar da vasta gama de métodos de balanceamento a sua aplicação em situações reais é complexa e exige grande conhecimento dos modelos matemáticos, o que os torna pouco prático para a maioria das empresas. Por essa razão optou-se pela utilização de uma heurística de prioridade simples, que pudesse incluir as características específicas das linhas de montagem manual da Bosch Ovar. Dado que se pretende distribuir de forma uniforme a carga total de trabalho associada à montagem de um produto, pelos postos de trabalho que constituem a linha, considerou-se o balanceamento do tipo III.

As heurísticas de prioridade mais comuns na literatura baseiam-se nas relações de precedência e/ou nos tempos das tarefas para estabelecerem a prioridade segundo a qual as tarefas são distribuídas pelos postos de trabalho. No entanto, tendo em conta as particularidades das tarefas das linhas manuais da Bosch, optou-se por gerar uma regra de prioridade composta, que depende do tamanho do componente (quanto menor o componente, maior a prioridade) e a localização do componente no PCBA (componentes que são inseridos numa zona do PCBA mais afastada no operador têm maior prioridade).

O modelo de apoio ao balanceamento foi desenvolvido através de Macros e VBA, do Microsoft Excel. Para além de permitir testar diferentes cenários de balanceamento, de acordo com os *inputs* inseridos no modelo, incluíram-se outras funções como o balanceamento com base em registos anteriores e a criação de instruções de trabalho.

Desta forma, o modelo de apoio ao balanceamento constitui uma ferramenta de auxílio aos engenheiros industriais da Bosch Ovar, permitindo uniformizar o processo de balanceamento, através da utilização de critérios específicos, para todos os produtos de diferentes linhas, facilitar o processo de balanceamento e testar diferentes cenários em tempo útil.

Acredita-se que o modelo proposto apresenta vantagens face aos métodos de balanceamento mencionados na revisão de literatura, visto que a utilização de uma heurística de prioridade confere uma grande versatilidade à resolução do problema de balanceamento. A simplicidade dos critérios de prioridade utilizados faz com que estes possam ser facilmente modificados e adaptados às necessidades de outras linhas de montagem, com características diferentes. O facto de o modelo ter sido desenvolvido no Microsoft Excel também é visto como uma vantagem, pois, por um lado, é um programa que está ao dispor de qualquer empresa (e por isso não exige investimento para o adquirir) e, por outro lado, as funcionalidades de VBA e Macros são acessíveis e não implicam conhecimentos complexos de programação para fazer pequenas alterações no modelo, caso seja necessário.

É, no entanto, de referir que o modelo de apoio ao balanceamento proposto depende fortemente do conhecimento das características da linha de montagem e das suas tarefas e que, apesar de ter funções desempenhadas de forma autónoma, não dispensa os *inputs* e pensamento crítico dos engenheiros industriais que o utilizam. É de notar também que o modelo não gera uma solução ótima, mas sim uma solução suficiente boa, em tempo útil, tendo em conta uma série de restrições estabelecidas. Este problema poderia ser ultrapassado com a inclusão de iterações na heurística proposta. No entanto, isso poderia tornar o modelo mais complexo, indo contra o propósito inicial do modelo.

Assim, considera-se que o modelo proposto satisfaz o objetivo inicialmente definido e é uma alternativa eficaz aos métodos académicos de balanceamento, demasiado complexos, encontrados na literatura. No entanto, para trabalhos futuros, é recomendável desenvolver métodos que possam obter soluções ainda melhores, sem que isso afete a complexidade do modelo. Pode também testar-se a usabilidade deste modelo em outras linhas de montagem manual do grupo Bosch e de outras empresas da indústria eletrónica.

Conclui-se assim que, os dois objetivos propostos no início da presente dissertação, foram cumpridos com sucesso. O estudo de caso apresentado corrobora os princípios da metodologia Lean, relativamente aos benefícios da aplicação de ferramentas de melhoria continua para o aumento da eficiência de linhas de montagem manual. Relativamente ao modelo de apoio ao balanceamento proposto, as evidências apresentadas relevam que é possível equilibrar os modelos académicos e a sua utilização pelas empresas, através da aplicação e desenvolvimento de estudos a casos reais, de forma a garantir a incluir questões relevantes para as empresas, nos modelos académicos.

Bibliografia

- Azizoğlu, M., & İmat, S. (2018a). Workload smoothing in simple assembly line balancing. *Computers & Operations Research*, 89, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.08.006>
- Azizoğlu, M., & İmat, S. (2018b). Workload smoothing in simple assembly line balancing. *Computers & Operations Research*, 89, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.08.006>
- Battaïa, O., & Dolgui, A. (2013). A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 259–277. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.10.020>
- Bautista, J., & Pereira, J. (2002). Ant Algorithms for Assembly Line Balancing. Em M. Dorigo, G. Di Caro, & M. Sampels (Eds.), *Ant Algorithms* (pp. 65–75). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-45724-0_6
- Baybars, İ. (1986). A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem. *Management Science*, 32(8), 909–932. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.8.909>
- Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694–715. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.023>
- Bowman, E. H. (1960). Assembly-Line Balancing by Linear Programming. *Operations Research*, 8(3), 385–389. <https://doi.org/10.1287/opre.8.3.385>
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 674–693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.010>
- Bratcu, A. I., & Dolgui, A. (2005). A survey of the self-balancing production lines (“bucket brigades”). *Journal of Intelligent Manufacturing*, 16(2), 139–158. <https://doi.org/10.1007/s10845-004-5885-7>
- Cannas, V. G., Pero, M., Pozzi, R., & Rossi, T. (2018). Complexity reduction and kaizen events to balance manual assembly lines: An application in the field. *International Journal of Production Research*, 56(11), 3914–3931. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1427898>

- Chen, Y.-Y., Cheng, C.-Y., & Li, J.-Y. (2018). Resource-constrained assembly line balancing problems with multi-manned workstations. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.07.001>
- Correia, D., Silva, F. J. G., Gouveia, R. M., Pereira, T., & Ferreira, L. P. (2018). Improving manual assembly lines devoted to complex electronic devices by applying Lean tools. *Procedia Manufacturing*, 17, 663–671. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.115>
- Dar-El (2007). Solving Large Single-Model Assembly Line Balancing Problems – A Comparative Study. *AIIE Transactions*, 7(3), 302–310. <https://doi.org/10.1080/05695557508975011>
- Duran, C., Cetindere, A., & Aksu, Y. E. (2015). Productivity Improvement by Work and Time Study Technique for Earth Energy-glass Manufacturing Company. *Procedia Economics and Finance*, 26, 109–113. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00887-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00887-4)
- Erel, E., & Sarin, S. C. (1998). A survey of the assembly line balancing procedures. *Production Planning & Control*, 9(5), 414–434. <https://doi.org/10.1080/095372898233902>
- Eswaramoorthi, M., Kathiresan, G. R., Jayasudhan, T. J., Prasad, P. S. S., & Mohanram, P. V. (2012). Flow index based line balancing: A tool to improve the leanness of assembly line design. *International Journal of Production Research*, 50(12), 3345–3358. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.575895>
- Fortuny-Santos, J., Ruiz-de-Arbulo-López, P., Cuatrecasas-Arbós, L., & Fortuny-Profitós, J. (2020). Balancing Workload and Workforce Capacity in Lean Management: Application to Multi-Model Assembly Lines. *Applied Sciences*, 10(24), 8829. <https://doi.org/10.3390/app10248829>
- Gen, M., Cheng, R., & Lin, L. (Eds.). (2008). Assembly Line Balancing Models. In *Network Models and Optimization: Multiobjective Genetic Algorithm Approach* (pp. 477–550). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-181-7_7
- Ghosh, S., & Gagnon, R. J. (1989). A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems. *International Journal of Production Research*, 27(4), 637–670. <https://doi.org/10.1080/00207548908942574>
- Hackman, S. T., Magazine, M. J., & Wee, T. S. (1989). Fast, Effective Algorithms for Simple Assembly Line Balancing Problems. *Operations Research*, 37(6), 916–924. <https://doi.org/10.1287/opre.37.6.916>

- Hazır, Ö., Agi, M. A. N., & Guérin, J. (2020). A fast and effective heuristic for smoothing workloads on assembly lines: Algorithm design and experimental analysis. *Computers & Operations Research*, 115, 104857. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.104857>
- Hazır, Ö., & Dolgui, A. (2013). Assembly line balancing under uncertainty: Robust optimization models and exact solution method. *Computers & Industrial Engineering*, 65(2), 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.03.004>
- Hoffmann, T. R. (1963). Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix. *Management Science*. <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.4.551>
- Hoffmann, T. R. (1992). Eureka: A Hybrid System for Assembly Line Balancing. *Management Science*, 38(1), 39–47. <https://doi.org/10.1287/mnsc.38.1.39>
- Kilbridge, M., & Wester, L. (1961). The Balance Delay Problem. *Management Science*, 8(1), 69–84. <https://doi.org/10.1287/mnsc.8.1.69>
- Kim, Y. J., Kim, Y. K., & Cho, Y. (1998). A heuristic-based genetic algorithm for workload smoothing in assembly lines. *Computers & Operations Research*, 25(2), 99–111. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(97\)00046-4](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(97)00046-4)
- Klein, R., & Scholl, A. (1996). Maximizing the production rate in simple assembly line balancing – A branch and bound procedure. *European Journal of Operational Research*, 91(2), 367–385. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00047-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00047-X)
- Kumar, S. S., & Kumar, M. P. (2014). Cycle Time Reduction of a Truck Body Assembly in an Automobile Industry by Lean Principles. *Procedia Materials Science*, 5, 1853–1862. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.493>
- Lapierre, S. D., & Ruiz, A. B. (2004). Balancing assembly lines: An industrial case study. *Journal of the Operational Research Society*, 55(6), 589–597. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601708>
- Lapierre, S. D., Ruiz, A., & Soriano, P. (2006). Balancing assembly lines with tabu search. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 826–837. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.031>
- Lenort, R., Staš, D., Holman, D., & Wicher, P. (2017). A3 Method as a Powerful Tool for Searching and Implementing Green Innovations in an Industrial Company Transport. *Procedia Engineering*, 192, 533–538. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.092>

- Martin, T. D., & Bell, J. T. (2017). *New Horizons in Standardized Work: Techniques for Manufacturing and Business Process Improvement*. CRC Press. New York. USA.
- McMullen, P. R., & Tarasewich, P. (2006). Multi-objective assembly line balancing via a modified ant colony optimization technique. *International Journal of Production Research*, 44(1), 27–42. <https://doi.org/10.1080/00207540500216748>
- Meyers, F. E., & Stewart, J. R. (2002). *Motion and Time Study for Lean Manufacturing*. Prentice Hall.
- Moodie, c. L. (1964). A heuristic method of assembly line balancing for assumptions of constant or variable work element times. *Theses and Dissertations Available from ProQuest*, 1–199. Retrieved March 20, 2021, from <https://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI6408691/>
- Mozdgir, A., Mahdavi, I., Badeleh, I. S., & Solimanpur, M. (2013). Using the Taguchi method to optimize the differential evolution algorithm parameters for minimizing the workload smoothness index in simple assembly line balancing. *Mathematical and Computer Modelling*, 57(1), 137–151. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.06.056>
- Nagi, M., Chen, F. F., & Wan, H.-D. (2017). Throughput Rate Improvement in a Multiproduct Assembly Line Using Lean and Simulation Modeling and Analysis. *Procedia Manufacturing*, 11, 593–601. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.153>
- Nearchou, A. C. (2008). Multi-objective balancing of assembly lines by population heuristics. *International Journal of Production Research*, 46(8), 2275–2297. <https://doi.org/10.1080/00207540600988089>
- Oliveira, J., Sá, J. C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through «Lean Tools»: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082–1089. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.139>
- Ortiz, C. A. (2006). *Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line* (1ª edição). CRC Press: Boca Raton, FL.
- Otto, A., & Otto, C. (2014). How to design effective priority rules: Example of simple assembly line balancing. *Computers & Industrial Engineering*, 69, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.12.013>
- Pereira, A., Abreu, M. F., Silva, D., Alves, A. C., Oliveira, J. A., Lopes, I., & Figueiredo, M. C. (2016). Reconfigurable Standardized Work in a Lean Company


- A Case Study. *Procedia CIRP*, 52, 239–244.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.019>
- Pereira, J., Silva, F. J. G., Bastos, J. A., Ferreira, L. P., & Matias, J. C. O. (2019). Application of the A3 Methodology for the Improvement of an Assembly Line. *Procedia Manufacturing*, 38, 745–754.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.101>
- Pimminger, S., Neumayr, T., Panholzer, L., Augstein, M., & Kurschl, W. (2020). Reflections on Work Instructions of Assembly Tasks. *2020 IEEE International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)*, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/ICHMS49158.2020.9209331>
- Pinto, J. P. (2009). *Pensamento Lean. A Filosofia das Organizações Vencedoras* (6ª edição). Lidel. Portugal
- Pitakaso, R. (2015). Differential evolution algorithm for simple assembly line balancing type 1 (SALBP-1). *Journal of Industrial and Production Engineering*, 32(2), 104–114. <https://doi.org/10.1080/21681015.2015.1007094>
- Ponnambalam, S. G., Aravindan, P., & Mogileeswar Naidu, G. (2000). A Multi-Objective Genetic Algorithm for Solving Assembly Line Balancing Problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16(5), 341–352. <https://doi.org/10.1007/s001700050166>
- Ponnambalam, S. G., Aravindan, P., & Naidu, G. M. (1999). A comparative evaluation of assembly line balancing Heuristics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15(8), 577–586.
<https://doi.org/10.1007/s001700050105>
- Roberts, S. D., & Villa, C. D. (1970). On a Multiproduct Assembly Line-Balancing Problem. *A I I E Transactions*, 2(4), 361–364.
<https://doi.org/10.1080/05695557008974777>
- Rosa, C., Silva, F. J. G., & Ferreira, L. P. (2017). Improving the Quality and Productivity of Steel Wire-rope Assembly Lines for the Automotive Industry. *Procedia Manufacturing*, 11, 1035–1042.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.214>
- Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, T., & Gouveia, R. (2018). Establishing Standard Methodologies To Improve The Production Rate Of Assembly Lines Used For Low Added-Value Products. *Procedia Manufacturing*, 17, 555–562. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.096>



- Saif, U., Guan, Z., Wang, B., Mirza, J., & Huang, S. (2014). A survey on assembly lines and its types. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 9(2), 95–105. <https://doi.org/10.1007/s11465-014-0302-1>
- Scholl, A., & Becker, C. (2006). State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 666–693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.022>
- Scholl, A., & Voß, S. (1997). Simple assembly line balancing—Heuristic approaches. *Journal of Heuristics*, 2(3), 217–244. <https://doi.org/10.1007/BF00127358>
- Simaria, A. S., & Vilarinho, P. M. (2004). A genetic algorithm based approach to the mixed-model assembly line balancing problem of type II. *Computers & Industrial Engineering*, 47(4), 391–407. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2004.09.001>
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2013). *Slack: Operations Management 7th edition MyOMLab pack* (7th edition). Pearson.
- Sternatz, J. (2014). Enhanced multi-Hoffmann heuristic for efficiently solving real-world assembly line balancing problems in automotive industry. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 740–754. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.11.005>
- Sury, R. J. (1971). Aspects of assembly line balancing. *International Journal of Production Research*, 9(4), 501–512. <https://doi.org/10.1080/00207547108929898>
- Tabucanon, M., & Changli, W. (1993). Balancing Method for a Semiautomatic Production Line. *Integrated Manufacturing Systems*, 4(1), 4–10. <https://doi.org/10.1108/09576069310023793>
- Talbot, F. B., Patterson, J. H., & Gehrlein, W. V. (1986). A Comparative Evaluation of Heuristic Line Balancing Techniques. *Management Science*, 32(4), 430–454. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.4.430>
- Tasan, S. O., & Tunali, S. (2008). A review of the current applications of genetic algorithms in assembly line balancing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(1), 49–69. <https://doi.org/10.1007/s10845-007-0045-5>
- Voss, C., Tsikriktsis, N., & Frohlich, M. (2002). Case research in operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), 195–219. <https://doi.org/10.1108/01443570210414329>

- Wei, N.-C., & Chao, I.-M. (2011). A solution procedure for type E simple assembly line balancing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 61(3), 824–830. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.05.015>
- Wilson, L. (2010) How to implement lean manufacturing, McGraw-Hill, New York, US. ISBN: 978-0-07-162507-4
- Yeo Keun Kim, Yong Ju Kim, & Kim, Y. (1996). Genetic algorithms for assembly line balancing with various objectives. *Computers & Industrial Engineering*, 30(3), 397–409. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(96\)00009-5](https://doi.org/10.1016/0360-8352(96)00009-5)
- Yu, J., & Yin, Y. (2010). Assembly line balancing based on an adaptive genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 48(1), 347–354. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2281-7>
- Zheng, Q., Li, M., Li, Y., & Tang, Q. (2013). Station ant colony optimization for the type 2 assembly line balancing problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(9), 1859–1870. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4465-9>

Anexos

Anexo A – Autorização para Divulgação de Informação

	OvrP/PRS		Final
	Autorização para Gravação de Imagem e Som		Versão: 1.01
			Data: 18-Nov-19
OvrP	Ref. BTFR-25574-001		Pag: 1 of 1

Emissor	Nome: <u>Daniel Brandão</u> Nº colaborador: <u>32694424</u> Departamento: <u>MOE4 - CH</u>		
Tipo de Autorização	<input type="checkbox"/> Única Início: <u>18 / 01 / 2021</u> Fim: <u>17 / 06 / 2021</u> <input checked="" type="checkbox"/> Longo prazo ¹ Fim: <u>17 / 06 / 2021</u>		
Tipo de gravação	<input checked="" type="checkbox"/> Imagem <input type="checkbox"/> Som	Publicação:	<input type="checkbox"/> Nenhuma <input type="checkbox"/> Interna (OK Bosch, Bosch Zunder,...) <input checked="" type="checkbox"/> Externa (Imprensa, clientes...)
Área de gravação	<input checked="" type="checkbox"/> Produção/Armazém <input type="checkbox"/> Escritórios <input type="checkbox"/> Desenvolvimento <input type="checkbox"/> Outra Detalhes da área:		
Execução	<input checked="" type="checkbox"/> Interno <input type="checkbox"/> Externo - Empresa: Nome: <u>Iuês Gomes</u> Nº colaborador: <u>Trainees 102</u> Departamento: <u>MOE4 - CH</u> Razão da gravação: <u>Tese de conclusão do mestrado integrado em Engenharia e Gestão Industrial com estágio curricular</u>		
Aprovação:	Emissor  Data: <u>19 / 06 / 2021</u>	Responsável PRS  Paulo Teixeira OvrP/HSE OvrP/PRS Data: <u>27 / 05 / 2021</u>	

Esta autorização deverá ser transportada durante as gravações de imagem e som!

¹ Ilimitado ou preencher a data de termo.
² Não aplicável, se a autorização for uma permissão geral para todo o departamento.

Aprovado por: Paulo Teixeira	Departamento: OvrP/PRS	Data: 18-Nov-2019
-------------------------------------	-------------------------------	--------------------------

Anexo B – Código do Modelo de Apoio ao Balanceamento

Foram definidas as variáveis apresentadas na Tabela Anexo B-1. Para tornar o código mais perceptível e facilitar a sua análise, optou-se por atribuir nomes que representassem a função da variável (em vez de letras).

Tabela Anexo B-1- Variáveis utilizadas no código VBA

Variável	Descrição
Linha	Atualiza a tarefa a ser analisada num dado momento (cada linha corresponde a uma tarefa).
linha_final	Devolve a tarefa da ultima linha preenchida da separador Excel (componente com menor peso).
Num_componentes_disponiveis	Atualiza o número de tarefas que ainda estão por atribuir, sempre que uma tarefa é atribuída a um posto de trabalho.
tempo_ciclo	Devolve o tempo de ciclo que pode ser atribuído a um dado posto de trabalho, definido no início do balanceamento.
largura_bordo_linha	Devolve o total de espaço disponível no bordo de linha num dado posto de trabalho, definido no início do balanceamento.
num_inserções	Atualiza o número de inserções num dado posto de trabalho, sempre que um novo componente é atribuído a esse posto.
espaço_ocupado	Atualiza o espaço ocupado no bordo linha de um dado posto de trabalho, sempre que um novo componente é atribuído a esse posto.

tempo_ciclo_posto	Atualiza o tempo de ciclo num posto de trabalho, sempre que uma nova tarefa é atribuída a esse posto de trabalho.
procura_no_task	Devolve o valor 1 caso num dado posto de trabalho, para o componente que está a ser atribuído, caso já exista uma no_task nesse posto. Devolve o valor 0 caso não exista.
Posto	Devolve o número do posto de trabalho ao qual as tarefas estão a ser atribuídas.

a) Início e fim do procedimento de balanceamento

O procedimento associado à heurística implementada repete-se até que todos os componentes tenham sido atribuídos a um posto de trabalho. Para executar esta regra no VBA, utilizou-se um ciclo “*Do while, Loop*”, representado pela expressão 2. Este tipo de ciclos permite repetir um conjunto de funções definidas, enquanto a condição definida no ciclo for verdadeira, como é representado no esquema da Figura Anexo B-1.

Do While num_componentes_disponiveis > 0 (2)

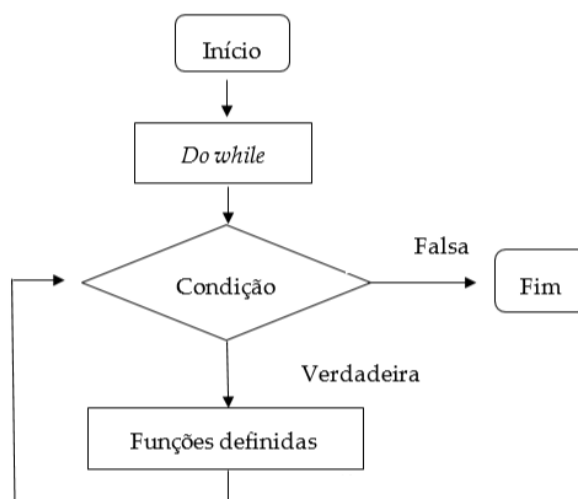


Figura Anexo B-1 - Funcionamento do ciclo “do while loop”, do Excel.

b) Atribuição de um componente a um posto de trabalho

Como indicado na definição da heurística (página 86), uma tarefa é atribuída a um determinado posto de trabalho se não violar nenhuma das restrições impostas a esse posto. É executada uma condição “If..Then, End If”, que obriga a que todas as condições do “If” sejam cumpridas para que a tarefa seja atribuída.

Assim, sempre que uma tarefa é selecionada pela heurística, para ser atribuída a um posto de trabalho, validam-se as seguintes etapas:

Restrição 1 - Se tarefa ainda não foi atribuída, seguir para a *Restrição 2*. Senão segue para *Conclusão 2*;

Restrição 2 - Se soma do tempo de execução da tarefa a ser atribuída, com o tempo de trabalho já atribuído ao posto de trabalho, não excede o tempo de ciclo definido para o posto de trabalho, seguir para a *Step 3*. Senão segue para *Conclusão 2*;

Restrição 3 – Se a soma do tamanho do contentor do componente a ser atribuído com o espaço já ocupado no posto de trabalho, pelos contentores dos outros componentes, não excede o tamanho do bordo de linha da estação, então segue para a *Step 4*. Senão segue para *Conclusão 2*;

Restrição 4 – Se não existem *no-tasks* dessa tarefa já atribuídas ao posto de trabalho em questão, segue para a *Conclusão 1*. Senão segue para *Conclusão 2*;

Conclusão 1 - A tarefa é atribuída ao posto de trabalho. Atualizar variáveis.

Conclusão 2 – Seleciona tarefa seguinte.

Quando uma tarefa é atribuída a um posto de trabalho, as variáveis são atualizadas, de acordo com as expressões (3), (4), (5) e (6):

$$Num_componentes_disponiveis = Num_componentes_disponiveis - 1 \quad (3)$$

$$espaço_ocupado = espaço_ocupado + tamanho\ do\ contentor\ do\ componente\ x \quad (4)$$

$$tempo_ciclo_posto = tempo_ciclo_posto + tempo\ da\ tarefa\ x \quad (5)$$

$$num_inserções = num_inserções + n^o\ inserções\ do\ componente\ x \quad (6)$$

Quando a tarefa não verifica todas as condições mencionadas, por se tratar de um procedimento orientado pelo posto de trabalho, essa tarefa não é atribuída e analisa-se a tarefa seguinte, com maior peso.

Para executar esta função no VBA, utilizou-se um ciclo “*For...to, Next*”, que permite repetir um determinado código desde o primeiro componente a ser atribuído (variável linha=1), até ao último componente (variável linha = linha_final).

Na Figura Anexo B-2, apresenta-se o procedimento implementado no VBA para selecionar e atribuir tarefas aos postos de trabalho.

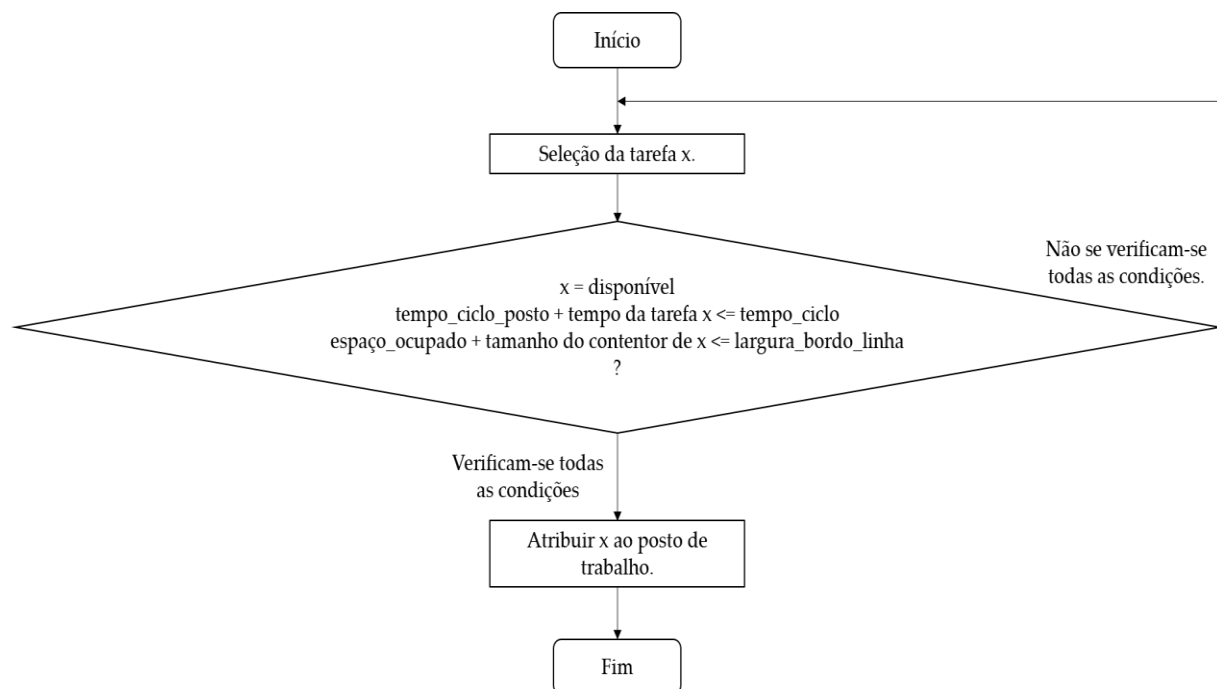


Figura Anexo B-2 - Atribuição de uma tarefa a um posto de trabalho.

c) Atribuição dos componentes a um novo posto de trabalho

Com recurso à condição “*For...to, Next*”, já mencionado, é possível iniciar a atribuição das tarefas a um novo posto de trabalho: quando uma dada tarefa em análise (variável linha = x) não verifica as condições necessárias para ser atribuída a um determinado posto de trabalho, essa tarefa fica por atribuir e a próxima tarefa disponível é selecionada para análise (*next linha*). Quando todas as

tarefas foram analisadas (variável linha = linha_final) e não existir nenhuma que possa ser atribuída aquele posto de trabalho, então é iniciada a atribuição de tarefas a um novo posto de trabalho.

Sempre que se inicia um novo posto de trabalho o ciclo volta ao princípio (variável linha=1), para garantir que atribui as tarefas com maior peso são atribuídas primeiro.

d) Balanceamento sem registos anteriores

A distribuição das tarefas aos postos de trabalho, sem ter em conta distribuições anteriores, é feita através de uma condição *"If..Then, End If"*, no VBA, em conta os seguintes passos:

- (1) Atribuir tarefas com restrições de posto de trabalho, de acordo com a Figura Anexo B-3. Quando todas as tarefas com restrições de posto tiverem sido atribuídas, seguir para o ponto (2);
- (2) Atribuir tarefas sem restrições de posto de trabalho, de acordo com a Figura Anexo B-2, enquanto existirem tarefas por atribuir.

Considera-se que a "tarefa x", mencionada nos esquemas corresponde à tarefa com maior valor de prioridade disponível para atribuição, de acordo com os critérios definidos.

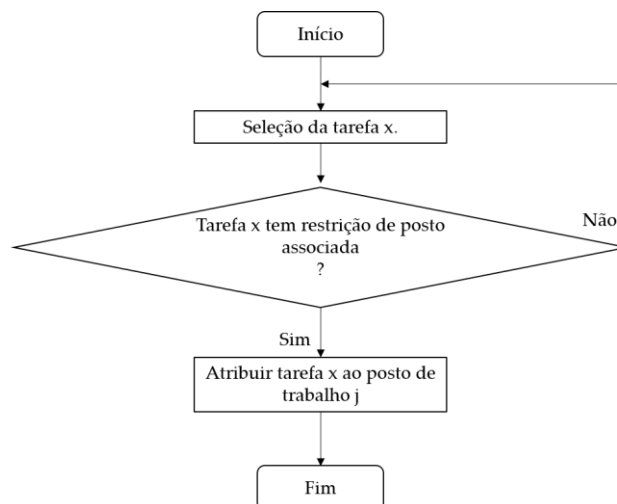


Figura Anexo B-3 - Atribuição de uma tarefa com restrição de posto de trabalho

e) Balanceamento com registos anteriores

Quando se pretende balancear a linha, para um dado produto, de forma a manter os componentes comuns a vários produtos, sempre atribuídos ao mesmo posto de trabalho (posto de trabalho específico independentemente do produto), pode utilizar-se a informação dos postos de trabalho gravados no separador “Base de Dados”. Nesse caso, a atribuição das tarefas, aos postos de trabalho, é feita da seguinte forma:

- (1) Atribuir tarefas que são comuns aos balanceamentos anteriores, tendo em conta a informação nos “Postos gravados” na separador “Base de Dados”, de acordo com o procedimento da Figura Anexo B-4 . Quando todas as tarefas com registos tiverem sido atribuídas, seguir para o ponto (2);
- (2) Atribuir tarefas com restrições de posto de trabalho, de acordo com o procedimento da Figura Anexo B-3. Quando todas as tarefas com restrições de posto tiverem sido atribuídas, seguir para o ponto (3);
- (3) Atribuir tarefas sem restrições de posto de trabalho, de acordo com o esquema da Figura Anexo B-2, enquanto existirem tarefas por atribuir.

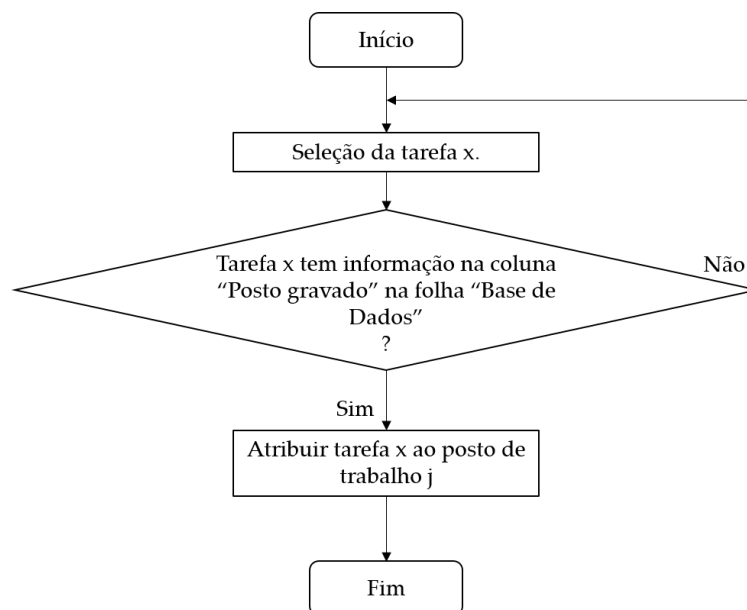


Figura Anexo B-4 - Atribuição de uma tarefa com registo de posto de trabalho.

